

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1936

THÈSE

N°

613

POUR LE

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

(Mention MÉDECINE)

PAR

LIBERSON, WLADIMIR-THÉODORE

Né le 2 Août 1904, à KIEFF (Russie)

ANCIEN EXTERNE DES HOPITAUX DE PARIS

PRÉPARATEUR AU LABORATOIRE D'ORGANISATION PHYSIOLOGIQUE DU TRAVAIL
DE L'ÉCOLE PRATIQUE DES HAUTES ÉTUDES

MÉTABOLISME

ET

OBÉSITÉ

Président : M. RATHERY, Professeur.

PUBLICATIONS DU TRAVAIL HUMAIN

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

252, Rue Saint-Martin, Paris-III^e



Digitized by the Internet Archive
in 2026

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1936

THÈSE

N°

POUR LE

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

(Mention MÉDECINE)

PAR

LIBERSON, WLADIMIR-THÉODORE

Né le 2 Août 1904, à KIEFF (Russie)

ANCIEN EXTERNE DES HOPITAUX DE PARIS

PRÉPARATEUR AU LABORATOIRE D'ORGANISATION PHYSIOLOGIQUE DU TRAVAIL
DE L'ÉCOLE PRATIQUE DES HAUTES ÉTUDES

MÉTABOLISME

ET

OBÉSITÉ

Président : M. RATHERY, Professeur.

PUBLICATIONS DU TRAVAIL HUMAIN

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

252, Rue Saint-Martin, Paris-III^e

I. — PROFESSEURS

	MM.
Anatomie	ROUVIÈRE.
Physiologie	Léon BINET.
Physique médicale	STROHL.
Chimie médicale	DESGREZ.
Bactériologie	Robert DEBRÉ.
Parasitologie et histoire naturelle médicale	BRUMPT.
Pathologie médicale et générale	BAUDOUIN.
Pathologie chirurgicale	CHEVASSU.
Anatomie pathologique	ROUSSY.
Histologie	CHAMPY.
Pharmacologie et matière médicale	TIFFENEAU.
Thérapeutique	HARVIER.
Hygiène et médecine préventive	TANON.
Médecine légale	BALTHAZARD.
Histoire de la médecine et de la chirurgie	LAIGNEL-LAVASTINE.
Pathologie expérimentale et comparée	FIESSINGER.
Hydrologie thérapeutique et climatologie	Maurice VILLARET.
Clinique médicale	LOEPER.
	CARNOT.
	CLERC.
	Marcel LABBÉ.
Hygiène et clinique de la première enfance	LEREBOULLET.
Clinique des maladies des enfants	NOBÉCOURT.
Clinique des maladies mentales et des maladies de l'encéphale	H. CLAUDE.
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques	GOUGEROT.
Clinique des maladies du système nerveux	GUILLAIN.
Clinique des maladies infectieuses	LEMIERRE.
	CUNÉO.
Clinique chirurgicale	GOSSET.
	GRÉGOIRE.
	LENORMANT.
Clinique ophtalmologique	TERRIEN.
Clinique urologique	MARION.
	BRINDEAU.
Clinique d'accouchements	COUVELAIRE.
	JEANNIN.
Clinique gynécologique	MOCQUOT.
Clinique chirurgicale infantile et orthopédie	OMBRÉDANNE.
Clinique thérapeutique médicale	RATHERY.
Clinique oto-rhino-laryngologique	LEMAITRE.
Clinique thérapeutique chirurgicale	Pierre DUVAL.
Clinique propédeutique	SERGENT.
Clinique de la Tuberculose	BEZANÇON.
Clinique chirurgicale orthopédique de l'adulte	MATHIEU.
	HOVELACQUE.
Professeurs sans chaire	MULON.
	OLIVIER.
	VERNE.



II. — AGRÉGÉS EN EXERCICE

MM.

BÉNARD (Henri). Pathologie médicale.
 BERNARD (Étienne). Pathologie médicale.
 BESANÇON (Justin). Hydrologie.
 BOULIN. Pathologie médicale.
 BULLIARD. Histologie.
 CATHALA. Pathologie médicale.
 CHEVALLIER. . . Pathologie médicale.
 DOGNON. Physique.
 FEY. Urologie.
 GALLIARD. . . . Parasitologie.
 GASTINEL. . . . Bactériologie.
 DE GAUDART D'ALLAINES. Pathologie
 chirurgicale.
 GAYET. Physiologie.
 GIROUD. Histologie.
 HAGUENAU. . . . Pathologie médicale.
 HALPHEN. Oto-rhino-laryngologie.
 HAZARD. Pharmacologie.
 HUGUENIN. . . . Anatomie pathologique.
 JOANNON. Hygiène.
 LABBÉ (Henri). . . Chimie biologique.
 LACOMME. Obstétrique.
 LANTUÉJOUL. . . Obstétrique

MM.

LAROCHE (Guy). Pathologie médicale.
 LEMAIRE. Pathologie expérimentale.
 LEVEUF. Pathologie chirurgicale.
 M^{me} J. LÉVY. . . . Pharmacologie.
 LÉVY-VALENSI. . . Neurologie et Psychiatrie.
 MOREAU. Pathologie médicale.
 MOULONGUET. . . Pathologie chirurgicale
 MOUQUIN. Pathologie médicale.
 OBERLING. Anatomie pathologique.
 PETIT-DUTAILLIS. . Pathologie chirurgicale.
 PIÉDELIÈVRE. . . Médecine légale.
 PORTES. Obstétrique.
 RICHET. Physiologie.
 SANNIÉ. Chimie biologique.
 SÉNÈQUE. Pathologie chirurgicale.
 TROISIER. Pathologie expérimentale.
 TURPIN. Pathologie médicale.
 VIGNES. Obstétrique.
 WILMOTH. Pathologie chirurgicale.

III — AGRÉGÉS RAPPELÉS A L'EXERCICE pour le service des examens

MM.

ALGLAVE. Pathologie chirurgicale.
 BUSQUET. Pharmacologie.
 CHAILLEY-BERT Physiologie.

MM.

LEROUX. Anatomie pathologique.
 NEVEU-LEMAIRE Parasitologie.

IV. — AGRÉGÉS CHARGÉS DE COURS DE CLINIQUE
à titre permanent

MM.		MM.	
ABRAMI.	} Clinique médicale.	BASSET.	} Clinique chirurgicale.
ALAJOUANINE . .		BROCQ.	
AUBERTIN		CADENAT	
BRULÉ		GATELLIER	
CHABROL.		HEITZ-BOYER . . .	
CHIRAY.		MOURE.	
DONZELOT		QUENU	
DUVOIR.		SCHWARTZ.	
LIAN		VELTER	
PASTEUR-VALLE - RY-RADOT . .			
SÉZARY.			

MM.	
ECALLE	} Clinique obstétricale.
GUÉNIOT	
LE LORIER.	
LÉVY-SOLAL. . . .	
METZGER	

V. — CHARGÉS DE COURS

MM.	
CHAILLEY-BERT, agrégé . .	Éducation physique.
LEDOUX-LEBARD	Radiologie clinique.
WEIL-HALLÉ	Puériculture.
RUPPE.	Stomatologie.

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'École a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A LA MÉMOIRE DE MON PÈRE
A MA MÈRE
A MA FEMME

A MON MAITRE

Monsieur le Professeur F. RATHERY
Professeur de Clinique Thérapeutique à la Faculté,
Membre de l'Académie de Médecine,

Qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de notre thèse. Expression de notre déférence et de notre gratitude.

A MON MAITRE

Monsieur le Professeur HENRI LAUGIER

Professeur à la Sorbonne et au Conservatoire des Arts et Métiers,

Qui m'a toujours guidé dans mes recherches. Il est pour moi plus qu'un Maître; qu'il me soit permis de lui redire ma très respectueuse affection et ma vive reconnaissance.

A MON MAITRE

Monsieur le Professeur A. A. OUKHTOMSKY

Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Leningrad,
Membre de l'Académie des Sciences de l'U. R. S. S.,

Qui fut mon premier Maître de Physiologie. Je garde un souvenir ineffaçable de mon séjour dans son Laboratoire.

A MES MAITRES DES HOPITAUX DE PARIS

STAGE :

- 1925-1926 Monsieur le Professeur F. WIDAL (*in memoriam*).
Monsieur le Professeur F. LEJARS (*in memoriam*).
1926 Monsieur le Professeur A. LEMIERRE.

EXTERNAT :

- 1927-1928 Monsieur le Docteur G. BOURGUIGNON.
1928-1929 Monsieur le Professeur F. RATHERY.
Monsieur le Docteur J. HUBER.

DU MÊME AUTEUR

1. Recherches biologiques sur la normalisation des fourches à balast. (En collaboration avec R. FAILLIE, H. LAUGIER et H. VIAL DE SACHY.) Ve réunion de l'Association des Physiologistes. *Annales de Physiologie et Physico-Chimie biol.*, t. VII, 1931, p. 235.
2. Recherches biologiques sur la normalisation des fourches à balast. (En collaboration avec R. FAILLIE et H. VIAL DE SACHY.) *Le Travail Humain*, t. I, 1933, p. 278.
3. Recherches sur la physiologie du travail aux hautes altitudes. (En collaboration avec R. BONNARDEL.) *C. R. A. S.*, t. CXCIV, 1932, p. 1265.
4. Recherches sur la physiologie de l'homme aux hautes altitudes. (En collaboration avec R. BONNARDEL.) *Le Travail Humain*, t. I, 1933, p. 432.
5. Recherches sur le travail à températures élevées dans une « mine artificielle ». (En collaboration avec P. MARQUÈS.) *Le Travail Humain*, t. II, 1934, pp. 39-69.
6. Un nomogramme pour le calcul rapide de l'oxygène et du quotient respiratoire dans la détermination du métabolisme. *C. R. Soc. Biologie*, t. CXI, 1932, p. 696.
7. Entraînement et réflexes conditionnés. (En collaboration avec P. MARQUÈS.) *Le Travail Humain*, t. I, 1933, pp. 204-206.
8. L'étude du métabolisme de base en fonction de la corpulence. (En collaboration avec R. FAILLIE.) *C. R. Soc. Biologie*, t. CXVIII, 1935, p. 1151.
9. Variations de la chronaxie des antagonistes dans la fatigue d'un mouvement volontaire. (En collaboration avec H. LAUGIER.) *C. R. Soc. Biologie*, t. CVIII, 1931, p. 924.
10. Recherches sur le pouvoir de discrimination des rythmes des mouvements volontaires. (En collaboration avec G. IAVORSKY.) *Le Travail Humain* (sous presse).
11. Attitude mentale et rythme des mouvements volontaires. *C. R. Soc. Biologie*, t. CXVIII, 1935, p. 1047.

12. Variations de la chronaxie en fonction de la posture chez l'homme. (En collaboration avec H. LAUGIER et B. NÉOUSSIKINE.) *C. R. A. S.*, t. CXCI, 1930, p. 1079.
13. Sur les mesures de l'excitabilité musculaire en courant ascendant et descendant sur la grenouille. (En collaboration avec H. LAUGIER.) *C. R. Soc. Biologie*, t. CXI, 1932, p. 944.
14. Modifications des chronaxies musculaires chez des cobayes présentant une paralysie diphtérique localisée. (En collaboration avec B. NÉOUSSIKINE et P. UHRY.) *C. R. Soc. Biologie*, t. CXII, 1933, p. 756.
15. Contribution à l'étude des lois d'excitation électrique directe du muscle. (En collaboration avec R. BONNARDEL.) *C. R. Soc. Biologie*, t. CXVI, 1934, p. 740.
16. Quelques observations sur l'excitation des nerfs et des muscles de l'homme par les courants lentement croissants. *C. R. Soc. Biologie*, t. CXVI, 1934, p. 1319.
17. L'utilisation d'un piézographe pour l'inscription des contractions des muscles de l'homme. *C. R. Soc. Biologie*, t. CXX, 1935, p. 987.
18. Recherches sur les contractions des muscles des membres supérieurs de l'homme enregistrées à l'aide d'un piézographe. (En collaboration avec COVACIU-ULMEANU et OLIVIER.) *C. R. Soc. Biologie*, t. CXX, 1935, p. 991.
19. Un réflexe lingual chez la grenouille. (En collaboration avec H. LAUGIER.) *C. R. Soc. Biologie*, t. CX, 1932, p. 425.
20. Quelques observations sur les réflexes médullaires de crapaud. *C. R. Soc. Biologie*, t. CXIII, 1933, p. 884.
21. Observations sur les caractères myographiques des réflexes médullaires de crapaud. *C. R. Soc. Biologie*, t. CXX, p. 874.

AVANT-PROPOS

Dans le présent travail, nous exposons les résultats d'une enquête statistique portant sur le métabolisme de base des femmes obèses. Cette étude peut paraître trop spéciale pour présenter un intérêt biologique général. Cependant, les Maîtres de la physiologie des échanges respiratoires ont rattaché depuis longtemps ce problème particulier à la discussion de la signification de la loi des surfaces. Or, cette loi reste encore « l'une des plus belles généralisations de la physiologie contemporaine » [Lapicque, 78].

Avant d'exposer les résultats de notre travail, nous avons fait un bref rappel de l'état actuel des problèmes soulevés par la discussion de cette loi. Nous avons été amené à exprimer, à cette occasion, quelques observations critiques qui seront développées dans la dernière partie de cet ouvrage.

Dans notre travail, nous avons fait appel à quelques méthodes statistiques élémentaires. Pour ceux de nos lecteurs qui ne sont pas familiarisés avec ces méthodes, ou ne les ont pas présentes à l'esprit, nous avons pensé utile de les rappeler très brièvement. Nous l'avons fait dans quelques « notes additionnelles ». Les renvois à ces notes sont mentionnés dans le texte. Nous connaissons nous-même les défauts et les lacunes de ces notes. Nous voulons espérer cependant qu'elles seront de certaine utilité pour quelques lecteurs et que, si elles ne leur fournissent pas de démonstrations complètes et rigoureuses, elles ne les induiront pas non plus dans des erreurs grossières.

Qu'il nous soit permis d'exprimer ici toute notre gratitude à notre Maître, le Professeur Henri Laugier, pour ses conseils

bienveillants dont nous avons largement bénéficié au cours de notre travail. Son enseignement, pénétré du souci d'introduire les méthodes statistiques objectives dans la discussion des données expérimentales concernant la physiologie humaine, nous a guidé au cours des recherches exposées dans cet ouvrage.

MM. les docteurs R. Faillie et P. Marquès ont participé aux diverses recherches qui constituent la base de ce travail. Nous tenons à les remercier vivement de cette collaboration qui nous a été d'un très grand secours.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos collègues et amis qui nous ont aidé dans la rédaction de cette monographie.

CHAPITRE PREMIER

HISTORIQUE ET POSITION DU PROBLÈME

1. La loi des surfaces.

Une discussion de longue date a opposé les partisans de la « loi des surfaces » à leurs contradicteurs. Cette loi traduit, comme on le sait, la proportionnalité de la puissance thermogénétique des homéothermes à la surface de leurs téguments. Elle s'appuie sur deux ordres de considérations :

1^o Celles de principe ; 2^o Celles de fait.

a) CONSIDÉRATIONS DE PRINCIPE.

Elles ont été clairement exposées, il y a un siècle, par deux physiologistes français, Rameaux et Sarrus.

...« Si actuellement nous admettons que la température des animaux est constante, c'est reconnaître que chez eux il y a une parfaite égalité entre la chaleur qu'ils produisent et celle qu'ils émettent. Or, comme la déperdition est proportionnelle à l'étendue des surfaces libres et que celles-ci sont comme le carré des côtés homologues, il faut nécessairement que les quantités d'oxygène absorbé, ou, ce qui est équivalent, que la chaleur produite d'une part et perdue de l'autre soit comme le carré des dimensions correspondantes des animaux que l'on compare, condition indispensable et qui peut être remplie de plusieurs manières. » (1838) [101].

Voici par conséquent un principe fondamental qui doit

aiguiller toute la discussion ultérieure : équilibre entre la production et l'émission de la chaleur et proportionnalité de cette émission à l'étendue de la surface cutanée. Cette émission serait régée classiquement par la loi de Newton.

b) CONSIDÉRATIONS DE FAIT.

Il a été établi depuis longtemps [Treviranus, 1832, 124], que les animaux de petite taille consomment plus d'oxygène par unité de poids que les animaux de grande taille (Loi des tailles). Mais ce sont Rubner [107-110] et Richet [103-105] qui ont apporté une confirmation expérimentale directe d'une certaine constance des échanges respiratoires par unité de surface sur une échelle animale assez étendue.

Les recherches ultérieures ont permis de préciser ces constatations.

Magnus Lévy [88] a mesuré sur l'homme ce qu'il appela le *Grundumsatz*, suggérant que le minimum inéluctable des dépenses énergétiques est atteint chez un homme immobile et à l'état de jeûne depuis un certain temps. Lefèvre [81] a ajouté à cette notion capitale celle de *neutralité thermique*. Celle-ci est définie par une température extérieure à laquelle les dépenses énergétiques, indispensables à l'entretien même de la vie, se traduisent par une émission de chaleur telle, qu'elle se fait sans qu'aucun mécanisme thermorégulateur soit mis en jeu.

À côté de ces dépenses du « service physiologique », il en existe d'autres, produites en dehors de la neutralité thermique, pour maintenir constante la température du corps (« Marge de la thermogénèse »).

Ces notions, permettant de définir le métabolisme de base comme le minimum des dépenses énergétiques compatible avec la vie (1), ont permis d'autre part de faire une vérification plus précise de la loi des surfaces.

Ce sont L. et M. Lapicque [76-77] qui les ont introduites

(1) En fait, à la lumière des recherches de Richet [104], celles de Mayer et Nichita [90] et celles de Chevillard [33] (voir la page 115), le métabolisme de base doit être défini comme le minimum compatible avec l'homéothermie, étant donné que les échanges énergétiques baissent sous l'influence de l'anesthésie. C'est donc dans ce sens que nous emploierons ce terme dans cet ouvrage.

dans la discussion générale de cette loi. Si l'élimination de la chaleur se fait en fonction de l'étendue de la surface cutanée, elle est également fonction de l'écart qui sépare la température de cette surface de celle du milieu ambiant.

M. et Mme Lapicque ont montré sur les oiseaux de taille différente que la température de neutralité thermique n'est pas la même pour tous les animaux. Pourtant :

« C'est en ce point de la température ambiante, variable avec chaque espèce, où la perte de chaleur déterminée par les conditions physiques est égale à la production de chaleur résultant de l'entretien même de la vie, que s'applique exactement d'un bout à l'autre de l'échelle, la loi des surfaces. » [Lapicque, 78.]

C'est donc à neutralité thermique qu'il est particulièrement intéressant de déterminer les échanges respiratoires si l'on veut les comparer dans la série animale.

A ces diverses considérations sur lesquelles a été fondée la loi des surfaces, les adversaires de cette loi répondent point par point en invoquant : 1^o des objections de principe et 2^o des objections de fait. Voyons d'abord ces dernières.

c) OBJECTIONS DE FAIT OPPOSÉES A LA LOI DES SURFACES.

Avant tout s'est posée la question préalable suivante : dans la comparaison des échanges de base rapportés à l'unité de surface, s'est-on servi des valeurs réelles de cette dernière ? Question d'importance, car les formules utilisées par différents auteurs dans le but de l'évaluation de la surface n'étaient souvent qu'approchées et quelquefois grossièrement approchées [Brody, 29].

D'autre part, les conditions de neutralité thermique n'étaient pas toujours observées. Il en était de même des autres conditions « basales » (attitude, immobilité). Ainsi les écarts constatés entre les valeurs trouvées et celles prévues par la loi ne pouvaient pas satisfaire les exigences de tous les auteurs.

Cependant, à défaut d'une méthode précise permettant une évaluation exacte de la surface, l'on peut se contenter de la confrontation de la grandeur des échanges, d'une part,

et d'une fonction du poids, la plus apte à traduire l'étendue de la surface, de l'autre. Cette fonction est le poids élevé à la puissance deux tiers [Meeh, 95].

Or Lapicque [78] a démontré l'existence d'un lien de proportionnalité approximative entre ces deux grandeurs sur une échelle animale étendue. Ces résultats ont été pleinement confirmés récemment par Brody, Proster et Ashworth [31]. Ces auteurs ont examiné les déterminations du métabolisme de base sur une échelle animale vraiment impressionnante. Les poids corporels qu'ils considèrent s'étendent de 10 gr. (souris) à 4.000 kg. (éléphant). Sur cette échelle, les auteurs ont constaté que le métabolisme de base par 24 heures peut être exprimé de la façon suivante :

$$M = 70,5 P^{0,734} \quad [4]$$

le métabolisme (M) étant exprimé en grandes calories par jour et le poids (P) en kilogrammes.

Le métabolisme de base est, par conséquent, proportionnel au poids élevé à la puissance légèrement supérieure à celle des 2/3.

d) OBJECTIONS DE PRINCIPE OPPOSÉES A LA LOI DES SURFACES

Malgré ces constatations, les adversaires de la loi des surfaces ont formulé un certain nombre d'objections de principe. En particulier, Harris et Benedict [56], d'une part, Lefèvre [83] de l'autre se sont appuyés sur le fait que l'émission de la chaleur ne se fait pas uniquement par la surface cutanée. Une quantité non négligeable de chaleur est éliminée par évaporation pulmonaire. Comment peut-on, alors, rattacher à l'étendue de la surface cutanée l'ensemble des déperditions ?

Une autre objection a été également formulée contre la loi des surfaces. Les revêtements cutanés des divers animaux ne sont pas équivalents, lorsqu'on envisage leur conductibilité thermique. Cette conductibilité n'est d'ailleurs pas constante chez le même animal aux différents moments. D'autre part, la loi de refroidissement de Newton qui a été invoquée n'est pas applicable à l'organisme vivant. Il se produit en effet ici des réactions physiologiques de compen-

sation qui échappent à cette loi. Comment peut-on alors ramener ces phénomènes complexes à une loi physique élémentaire ? [83.]

Nous verrons, dans la dernière partie de ce travail, comment il faut représenter l'ensemble des déperditions calorifiques en nous appuyant sur les lois, formulées par les physiciens, concernant l'émission de la chaleur. Nous pourrons alors mieux nous rendre compte de la valeur de ces objections.

D'ailleurs, les objections de principe opposées à la loi des surfaces ont été formulées le plus souvent d'une façon à la fois plus générale et plus subtile. Elles concernent la causalité des phénomènes observés. Pour certains, c'est la thermolyse qui commande la thermogénèse ; pour les autres, c'est la thermogénèse qui est le facteur initial. Pour d'autres, enfin, la relation entre la thermogénèse et la thermolyse ne pouvait se manifester que dans les périodes les plus anciennes de l'évolution des homéothermes ; la loi des surfaces n'impliquerait pas nécessairement une influence directe et immédiate de la thermolyse sur la thermogénèse [Rubner, 110].

La loi des surfaces a posé devant les physiologistes le problème suivant : un animal de petite taille est obligé, pour faire face à la déperdition calorifique, de produire, par unité de poids, plus de calories qu'un animal de grande taille. Comment se fait-il qu'un kilogramme de moineau libère plus d'énergie qu'un kilogramme d'éléphant ?

Pour les uns (Rubner et Richet), c'est parce que chez les premiers les tissus sont plus activement sollicités à dépenser en raison de la concentration plus grande des éléments nerveux par unité de poids. Pour les autres [Von Hoesslin] (1) [voir aussi Terroine, 118], c'est parce qu'une unité de masse de petits homéothermes est plus richement vascularisée et irriguée que celle des gros. Pour d'autres, enfin, ce serait du fait des différences présentées par ces divers animaux en ce qui concerne la quantité [Voit et Benedict] (2) et la qualité

(1) « Pour autant que je puisse m'en rendre compte, rien ne va contre l'idée que les différentes quantités de sang ou d'oxygène circulant par unité de temps dans l'unité de masse du corps soient la cause des différences de grandeur dans les échanges des différents animaux, même au repos. » [VON HOESSLIN, 62].

(2) « Si la production de chaleur, dit Benedict, est proportionnelle à $P^{2/3}$, cela n'est pas dû au fait que la surface détermine la thermolyse, mais que la masse protoplasmique active, probablement liée au poids du corps par le même rapport mathématique, détermine la thermogénèse. » [BENEDICT, 9.]

[Schaeffer, Le Breton, 80] (1) de la « masse cellulaire active ». L'expression $P^{2/3}$ ($P =$ poids) traduirait alors d'une façon approchée la masse active de l'animal.

Une discussion, parfois confuse, s'est engagée sur la question de savoir lequel de ces différents facteurs joue le rôle le plus important dans la production des faits impliqués dans la loi des surfaces. Lambert et Teissier [71], en cherchant à définir la notion de « similitude biologique », se sont attachés à démontrer que cette notion conduit nécessairement à formuler la loi des surfaces. Teissier [117] a montré en outre que, par des considérations qui découlent de cette théorie, l'on peut déduire tout un système de constantes biologiques présentant des relations mathématiques réciproques simples.

Au cours du présent travail, nous plaçant sur un terrain expérimental plus étroit, intraspécifique, nous serons amené à adopter une conduite différente. Au lieu de chercher la « cause » des phénomènes, tâche qui nous semble être pour le moins prématurée, nous essayerons de déterminer un ensemble de facteurs se trouvant en relation avec la grandeur des échanges. Nous nous efforcerons par la suite de rechercher dans quelles conditions cet ensemble peut être défini le plus facilement. Nous examinerons enfin, à la lumière de ces constatations, certaines théories proposées.

2. Résultats principaux obtenus sur l'homme.

Les recherches pratiquées sur l'homme ont bénéficié de trois circonstances favorables :

1. Le métabolisme a pu être déterminé dans les conditions vraiment « basales » quant au régime, attitude et immobilité du sujet en expérience, de même en ce qui concerne les conditions thermiques du milieu.

2. Les recherches des divers auteurs, parmi lesquels citons Bouchard [28], Du-Bois [42,43] et Benedict [11] ont permis d'évaluer avec une assez grande précision la surface cutanée.

(1) Pour ces auteurs, « il doit exister des différences chimiques et physico-chimiques entre le protoplasma des homéothermes, petits ou gros, qui expliquent en partie les différences de puissance thermogénétique de l'unité de poids » [LE BRETON, 79.]

3. L'intérêt que présente en pathologie la détermination des échanges de base, le nombre de données recueillies se trouvant ainsi considérablement augmenté.

Or, dès les premières recherches faites sur l'homme, des faits importants ont été découverts.

Tout d'abord, il a été constaté que le métabolisme de base présente chez les mêmes individus des variations assez importantes d'un examen à l'autre. Ces variations ne semblent pas pouvoir être entièrement expliquées par les erreurs fortuites dues à l'approximation des mesures (1).

D'autre part, lorsqu'on considère des individus de sexe, d'âge, de poids et de taille identiques, l'on trouve des différences individuelles à l'intérieur d'un tel groupe homogène. Cependant, si l'on envisage *les moyennes* de ces déterminations individuelles, l'on constate des valeurs sensiblement constantes.

Si maintenant, pour un sexe et un âge donnés, on compare les moyennes du métabolisme de base des individus de taille et de poids très différents et de configuration physique ne s'écartant pas trop de la normale, on voit que les échanges de base sont approximativement proportionnels à l'étendue de la surface cutanée. Mais pour les sujets de sexe et d'âge différents, la grandeur des échanges par unité de surface n'est pas la même (2).

Les hommes et les sujets jeunes présentent par unité de surface un métabolisme de base plus élevé que les femmes et les sujets âgés. Divers auteurs ont pu traduire ces constatations par des tables de références, dans lesquelles pour chaque ensemble de valeurs des divers facteurs biométriques l'on trouve une valeur standard du métabolisme de base. Nous en reparlerons plus loin.

Les adversaires de la loi des surfaces ont insisté sur ces faits. Benedict [9] a apporté avec divers collaborateurs des observations faites sur les différents groupes de sujets se trouvant dans des conditions physiologiques particulières

(1) Par contre, dans certaines conditions expérimentales, dans lesquelles les déterminations ne sont faites que pendant un temps assez court, elles peuvent tenir aux phénomènes de « latitude » décrits récemment par Gasnier et Mayer [48-49].

(2) Pourtant Faillie a montré que si l'on se sert des formules de la surface, établies par Bouchard, le métabolisme de base est le même pour les deux sexes.

[végétariens, 18 ; athlètes, 19 ; jeûneurs, 8, 10, 16] (1). Il a trouvé ainsi des valeurs du métabolisme de base présentant des écarts systématiques par rapport aux moyennes trouvées sur les sujets « normaux ».

D'autres auteurs ont cherché à concilier la loi des surfaces avec ces diverses constatations.

La première manière de voir s'est cristallisée dans le travail de Harris et Benedict [56]. La deuxième, dans celui de Bohnenkamp [22].

Nous allons les envisager l'un après l'autre.

a) TRAVAIL DE HARRIS ET BENEDICT

Dans un travail fort important que Harris et Benedict [56] ont consacré à l'étude biométrique du métabolisme de base chez l'homme, ces auteurs se sont attachés à déterminer les coefficients de corrélation entre les échanges de base et les différents facteurs morphologiques et physiologiques de l'individu. La détermination de ces indices statistiques permet en effet d'établir des équations de prévision, susceptibles d'indiquer la grandeur du métabolisme de base lorsqu'un certain nombre de facteurs biométriques sont connus. (Voir « Notes Additionnelles », I.)

Ces recherches ont été effectuées sur 136 hommes et 103 femmes. Parmi les hommes se trouvaient 16 athlètes et un certain nombre de végétariens. Ce groupe était, par conséquent, assez hétérogène. Voici les valeurs des principaux coefficients de corrélation trouvés par ces auteurs.

Pour les hommes d'abord :

Le coefficient de corrélation entre le métabolisme de base et le poids est :

$$r_{mp} = 0,7960 \pm 0,0212 \quad [2]$$

Le coefficient de corrélation partielle entre les mêmes variables à taille constante est :

$$r'_{mp} = 0,6867 \pm 0,0306 \quad [3]$$

(1) En ce qui concerne les variations des valeurs du métabolisme de base au cours du jeûne et de la sous-alimentation, voir aussi Labbé et Stévenin [70].

Pour les femmes, les mêmes coefficients sont respectivement :

$$r_{mp} = 0,6092 \pm 0,0418 \quad [4]$$

$$r_{mp} = 0,5803 \pm 0,0441 \quad [5]$$

Le coefficient de corrélation entre le métabolisme de base et l'âge est de :

Chez l'homme :

$$r_{ma} = - 0,3062 \pm 0,0524 \quad [6]$$

Chez la femme :

$$r_{ma} = - 0,2034 \pm 0,0637 \quad [7]$$

On voit que ces derniers coefficients présentent des valeurs négatives. Ceci signifie que le métabolisme de base *décroît* avec l'âge.

Le coefficient de corrélation partielle entre les mêmes variables à poids fixe est respectivement pour les hommes et pour les femmes :

$${}_p r_{ma} = - 0,5147 \pm 0,0425 \quad [8]$$

$${}_p r_{ma} = - 0,4976 \pm 0,0500 \quad [9]$$

Le coefficient de corrélation entre le métabolisme de base et la taille est pour les hommes :

$$r_{mt} = 0,6149 \pm 0,0360 \quad [10]$$

Le coefficient de corrélation partielle entre les mêmes facteurs à poids et à âge fixes est :

$${}_{ap} r_{mt} = 0,2899 \pm 0,0530 \quad [11]$$

Pour les femmes, les mêmes coefficients sont respectivement :

$$r_{mt} = 0,2318 \pm 0,0629 \quad [12]$$

$${}_{ap} r_{mt} = 0,0850 \pm 0,0660 \quad [13]$$

(Voir « Notes additionnelles », II.)

On voit que les coefficients de corrélation entre le métabolisme de base et le poids présentent, parmi les autres coefficients, les valeurs les plus élevées. Ils indiquent (voir

« Notes additionnelles », I) que, dans une population où la dispersion primitive des valeurs individuelles du métabolisme de base est caractérisée par la variance σ_m^2 , celle-ci peut être réduite en fixant la valeur du poids des sujets considérés, d'environ 64 pour 100 $[(0,80)^2 = 0,64]$ pour les hommes et d'environ 36 pour 100 $[(0,60)^2 = 0,36]$ pour les femmes.

Si l'on ne considérait que les sujets d'un âge déterminé et de poids fixe, on trouverait une variance encore plus réduite. Si enfin, parmi les sujets de poids et d'âge identiques, on choisissait les individus de même taille, on pourrait s'attendre à trouver une nouvelle réduction de la variance primitive (σ_m^2). Nous serons amené par la suite à évaluer exactement cette dernière réduction supplémentaire. Bornons-nous à dire maintenant qu'elle est extrêmement faible, quoique Harris et Benedict lui aient attribué une signification physiologique importante. (Voir « Notes additionnelles », I.)

Les coefficients de corrélation ci-dessus rapportés ont permis à ces auteurs d'établir les équations de prévision ou, comme on les appelle, les *équations de régression*. Les voici respectivement pour les hommes et pour les femmes :

$$M = 66,473 + 13,752 P + 5,003 T - 6,755 A \quad [14]$$

$$M = 655,096 + 9,563 P + 1,850 T - 4,676 A \quad [15]$$

où M = métabolisme de base en grandes calories et par 24 heures ; P = poids en kg. ; T = taille en centimètres et A = âge en années.

Ces équations permettent d'indiquer la valeur la plus probable du métabolisme de base pour un sujet dont on connaît tous ces différents facteurs biométriques. Pour un groupe d'individus caractérisés par des valeurs fixes de ces facteurs, elles permettent de prévoir la grandeur moyenne des échanges autour de laquelle vont se disperser toutes les valeurs individuelles suivant une courbe des fréquences déterminée. La variance de cette nouvelle distribution peut être calculée par rapport à la variance initiale (σ_m^2) en se servant des valeurs des coefficients de corrélation que nous avons rapportés plus haut. L'erreur probable des valeurs indiquées par ces équations peut être également évaluée. (Voir « Notes additionnelles », II.)

Nous reviendrons encore sur ces équations de prévision. Nous

voudrions ici attirer spécialement l'attention sur les deux points suivants :

1. Ces équations de prévision permettent un pronostic des valeurs approchées du métabolisme de base en connaissant l'âge, le poids et la taille des sujets. La surface n'y figure pas, du moins explicitement. Harris et Benedict ont beaucoup insisté sur cette constatation. Ils ont calculé que si, au lieu de ces facteurs, on faisait intervenir uniquement la surface dans une nouvelle équation de régression, la prévision ne s'en trouverait pas améliorée (1). La surface est fonction du poids et de la taille ; c'est, d'après ces auteurs, la seule raison qui explique pourquoi la connaissance de la surface permet de fixer l'ordre de grandeur du métabolisme.

D'après ces auteurs, c'est la connaissance du poids et de la taille avec celle du sexe et de l'âge qui permet de nous rendre compte de la grandeur du facteur déterminant le métabolisme de base (« la masse active ») chez un sujet donné et, par suite, fixer l'ordre de grandeur de ses échanges.

2. De plus, les recherches de Harris et Benedict soulèvent un problème particulier dont la discussion projette des lumières nouvelles sur l'influence de la « masse protoplasmique active » sur la grandeur des échanges de base.

Si, dans les équations formulées par ces auteurs, on fixe pour un sexe donné les valeurs du poids et de l'âge, on constate que le métabolisme croît avec la taille. Les individus de même poids, ayant une taille plus élancée que celle des autres, sont les plus maigres. Or, ce sont justement ceux-là qui présentent à poids égal un métabolisme de base le plus élevé. Telle est du moins la conclusion tirée par Harris et Benedict de leurs recherches. (Voir plus loin, les pages 26-27.)

L'augmentation du taux relatif des tissus de réserve et, par conséquent, la diminution relative de la « masse active », entraîneraient, d'après eux, un abaissement des échanges. Harris et Benedict rattachent à ce fait, du moins partiellement, la diminution du métabolisme de base avec l'âge. La même explication pourrait s'appliquer également aux diffé-

(1) Dans une communication toute récente, Berkson, Boothby et Dunn [21] font remarquer que si l'on ajoutait à la surface la valeur de l'âge, la précision serait, au contraire, meilleure que dans le cas où l'on envisage l'âge, le poids et la taille.

rences entre la grandeur du métabolisme des hommes et des femmes. En effet, ces dernières présentent en moyenne un indice d'adiposité plus élevé que celui des hommes.

C'est ce point que nous envisagerons par la suite tout particulièrement, car il se rapporte directement au sujet de notre travail. Il est curieux de constater que Bohnenkamp [22], se plaçant sur un point de vue tout à fait différent, est arrivé à formuler sur cette question la même conclusion que celle à laquelle aboutissent Harris et Benedict.

b) TRAVAIL DE BOHNENKAMP

Cet auteur a voulu imprimer récemment [22-25] une direction nouvelle aux recherches concernant le métabolisme de base de l'homme. Il prend pour point de départ la même idée que celle que Rameaux et Sarrus ont exprimée en 1838 [101]. Puisqu'il existe un équilibre entre la production et l'émission de la chaleur chez les homéothermes et, étant donné la difficulté de rapporter le volume des échanges à une unité génératrice de cette chaleur, il est plus rationnel de chercher à déterminer la loi de la déperdition calorifique que celle de sa production. En vertu même de l'équilibre de fait, ce sera la loi du métabolisme.

Faisant appel à la loi de Lambert et à celle de Stefan-Boltzmann, Bohnenkamp et ses collaborateurs [23-24] ont pu traduire la valeur de la déperdition calorifique par rayonnement par l'équation suivante qu'ils ont d'ailleurs vérifiée expérimentalement :

$$E_{ray} = \sigma (T_c^4 - T_{amb}^4) S_{ray} \cdot 86.400 \quad [16]$$

Dans cette équation :

- E_{ray} = déperdition de chaleur par rayonnement ;
- σ = constante universelle de Stefan-Boltzmann ;
- T_c = température cutanée moyenne (en comptant du 0 absolu) ;
- T_{amb} = température du milieu ambiant comptée sur la même échelle ;
- S_{ray} = surface rayonnante ;
- 86.400 = nombre de secondes par 24 heures.

On voit que la surface à laquelle les auteurs font appel dans cette équation (surface « rayonnante ») n'est pas la surface « géométrique » que l'on considérait jusqu'à présent. En effet, il existe de nombreuses régions du corps au niveau desquelles le rayonnement se fait d'un endroit sur un autre. C'est ainsi, par exemple, que les choses se passent au niveau des faces internes des cuisses et des bras. Or, de tels faits témoignent d'une annulation, ou tout au moins d'une diminution partielle, du pouvoir émetteur de la surface cutanée. Il existe des méplats et des fossettes sur cette surface qui apportent également une perturbation dans l'uniformité de son pouvoir rayonnant. Ces auteurs ont suggéré que, pour satisfaire l'équation 16, on peut déterminer la valeur de la « surface rayonnante » en mesurant la capacité électrostatique du corps. Cependant, l'étendue de cette surface rayonnante est très largement variable suivant les positions des membres supérieurs et inférieurs dans l'espace et, d'une façon générale, suivant l'attitude du corps. Il suffit par exemple d'écartier les jambes et de relever les bras pour que la « surface rayonnante » augmente sensiblement (1).

Pour pouvoir définir une loi de l'élimination de la chaleur, les conditions dans lesquelles il convient de déterminer le métabolisme de base doivent être strictement réglementées. En particulier, la température extérieure doit être la même pour tous les sujets pendant la détermination du métabolisme de base (à 25°, par exemple).

Cependant, la perte calorique totale comporte, en plus du rayonnement, les déperditions par évaporation d'eau, par conduction, par convection, par échauffement de l'air pulmonaire. En ce qui concerne l'évaporation d'eau, Bohnenkamp fait appel aux recherches de Benedict et Root [17]. Il en tire une équation linéaire liant cette évaporation au métabolisme total. En ce qui concerne la conduction et la convection, il se base sur les évaluations de Buttner [32]. Ce dernier auteur a exprimé approximativement cette déperdition par l'équation suivante :

$$C = 81 \text{ } \theta \text{ } S \quad [17]$$

(1) Voir plus loin, p. 103.

où :

C = la déperdition calorique par convection et conduction
par mètre carré et 24 heures.

$$t = T_c - T_{amb}$$

(Voir l'explication qui suit la formule 16.)

S = surface « géométrique ».

Enfin, en ce qui concerne l'échauffement de l'air pulmonaire, Bohnenkamp accepte une valeur égale à 2 p. 100 du métabolisme total.

Il arrive ainsi à formuler l'équation suivante, dans laquelle le métabolisme de base est représenté en fonction de la surface active et de l'écart des 4^{es} puissances des températures en question :

$$E_{tot} = 3,66.10^{-10} \cdot S_{ray} [T_c^4 - 298^4] - 372 \quad [18]$$

où :

E_{tot} = métabolisme de base ;

S_{ray} = surface rayonnante ;

T_c = température cutanée moyenne.

C'est la loi du métabolisme de base chez l'homme. L'énergie totale peut être déterminée par une mesure directe ou indirecte (échanges respiratoires). La surface peut être mesurée par la capacité électrostatique du corps. La seule inconnue, la température cutanée moyenne, peut être déduite de cette équation. Inversement, si l'on connaissait cette température, l'équation 18 permettrait de trouver la valeur vraie du métabolisme de base.

Cette température cutanée moyenne est manifestement fonction de l'importance du pannicule adipeux [Cobet, 36]. Ce rapport entre l'importance du pannicule adipeux et la valeur de la température cutanée moyenne permet d'entrevoir, d'après Bohnenkamp, la solution du problème fondamental, soulevé par l'étude du métabolisme de base chez l'homme : l'explication des différences constatées en fonction du sexe et de l'âge.

Bohnenkamp a relevé les données antérieures démontrant l'augmentation du pannicule adipeux chez les adultes en fonction de l'âge [Traut, 123]. D'autre part, à âge constant, les femmes, en général, en présentent un plus épais que les

hommes. Or, l'augmentation de l'épaisseur du pannicule adipeux entraînerait un abaissement de la température cutanée moyenne. A une température fixe du milieu ambiant (25°), l'écart entre la température ambiante et la température moyenne de la peau serait donc plus petit chez les femmes et chez les adultes âgés que chez les hommes et chez les personnes jeunes. De sorte que le métabolisme de base, rapporté à l'unité de surface, serait, d'après l'équation 18, inférieur chez les premiers à celui trouvé chez les seconds. Ne serait-ce pas là la solution du problème envisagé ?

c) RECHERCHES SUR LE MÉTABOLISME DE BASE DES OBÈSES.

On voit par conséquent que Harris et Benedict d'une part, Bohnenkamp et ses collaborateurs de l'autre, abordant le même problème de deux points de vue différents, arrivent à la même conclusion. Que l'on envisage le métabolisme de base comme étant déterminé par la « masse protoplasmique active » ou que l'on rattache sa régulation à la conductibilité thermique de la région sous-cutanée, les sujets obèses devraient présenter, à poids égal ou à surface égale, une dépense énergétique minimum moins élevée que celle des sujets normaux. C'est dans cette direction d'ailleurs que les auteurs cités cherchent l'explication des déviations constatées chez l'homme par rapport à la loi des surfaces, chez les sujets de sexe et d'âge différents (1).

Cependant, avant de rattacher à l'état d'adiposité des sujets de sexe et d'âge différents les différences constatées dans leurs échanges, il semble qu'on doive démontrer la diminution du métabolisme de base chez les sujets de sexe et d'âge identiques, mais présentant une obésité certaine. On pourrait ainsi constater si le fait même d'être obèse, autrement dit le fait de présenter un taux élevé de tissus de réserve et un pannicule adipeux épais, diminue le métabolisme de base.

Les auteurs cités semblent répondre à cette question par l'affirmative. Voyons les faits sur lesquels ils s'appuient.

(1) Une théorie analogue a été développée plus récemment par Burton [31 bis].

i. *Pour Harris et Benedict*, le fait fondamental réside dans la présence d'une certaine corrélation partielle positive entre le métabolisme de base et la taille à poids constant. Voici comment ils s'expriment :

« La corrélation partielle montre que, pour un groupe d'individus du même poids, ce sont les plus grands qui présentent les échanges gazeux les plus élevés. Dans un groupe d'individus de poids identique, une taille élancée peut résulter uniquement de la réduction de la masse des os, des muscles ou de la graisse. C'est probablement la réduction de la graisse qui se rattache à la présence d'une taille élevée sans augmentation de poids. Nous concluons, par conséquent, que plus les individus sont maigres, plus ils montrent un métabolisme élevé. » [56.]

Or, le coefficient de corrélation partielle entre la taille et le métabolisme de base à poids constant, trouvé par ces auteurs, est sensiblement nul, du moins en ce qui concerne les femmes ($0,045 \pm 0,0663$). A poids et à âge constants, il est de même ordre de grandeur ($0,0850 \pm 0,0660$). Malgré cela, Harris et Benedict ont cru devoir introduire la taille dans leur équation biométrique.

Il ne serait peut-être pas inutile de voir sur un exemple précis quelle est la diminution du métabolisme de base que permet de prévoir leur formule pour une femme obèse.

Influence de la taille. Considérons une femme de 80 kg., mesurant 1 m. 75, qui est comparée à une autre du même âge et du même poids, mais présentant une taille de 1 m. 50. Le calcul montre que la diminution du métabolisme de base prévue par la formule des auteurs cités ne serait dans ce dernier cas que de 3 p. 100.

Influence de l'âge. Considérons maintenant deux femmes du même poids (80 kg.) et d'une taille moyenne (1 m. 60), dont l'une est âgée de 19 ans et l'autre de 61 ans. Le calcul montre que la formule des mêmes auteurs prévoit une différence entre le métabolisme de base de ces deux femmes d'environ 15 p. 100.

Ces exemples montrent que l'on ne peut pas rattacher à l'augmentation du taux relatif des tissus de réserve la diminution du métabolisme de base avec l'âge, même en considérant les formules proposées par Harris et Benedict. Il est

difficile d'imaginer qu'une femme de 80 kg. et 1 m. 50 ait sensiblement la même « masse protoplasmique active » qu'une femme de même poids, mais dont la taille est de 1 m. 75. Pourtant, leur métabolisme de base est sensiblement le même, d'après les résultats de Harris et Benedict eux-mêmes.

Chez les hommes, le coefficient de corrélation partielle entre le métabolisme de base et la taille à poids et âge constants a été trouvé par ces auteurs comme étant sensiblement supérieur, du moins en apparence, à celui trouvé pour les femmes. Il est de $0,29 \pm 0,05$. C'est encore un coefficient qui est très faible, surtout lorsqu'on considère les coefficients de corrélation totale et partielle que présente le métabolisme de base de ces sujets respectivement avec le poids et avec l'âge à poids constant (1).

Il est facile de calculer la réduction du σ de la distribution des valeurs du métabolisme de base trouvée sur la population totale, réduction opérée du fait de la fixation de la taille, après celle de poids et de l'âge. Cette réduction est de 1 p. 100 environ. C'est sur un tel coefficient que s'appuient les conclusions de Harris et Benedict.

Nous croyons que sa valeur ne permet pas de tirer de leurs recherches une conclusion pouvant s'appliquer aux obèses. Mais, inversement, les résultats de ces calculs n'impliquent pas nécessairement l'inexactitude de l'hypothèse faite par ces auteurs. Leurs recherches ont été effectuées sur une population « normale ». On pourrait supposer que, dans un groupe comprenant les obèses, l'influence de la taille sur le métabolisme de base se ferait sentir. En d'autres termes, on pourrait supposer que l'extrapolation de leur formule biométrique n'est pas justifiable lorsqu'il s'agit des sujets obèses (2).

(1) En effet, il ne faut pas perdre de vue que la valeur d'un coefficient de corrélation n'est intéressante à considérer qu'en tant qu'elle permet d'indiquer la réduction de la distribution primitive de la variable en question (métabolisme de base). Quant au coefficient de corrélation partielle, la force de réduction qu'il indique s'exerce sur les distributions déjà réduites. De sorte qu'un tel coefficient, considéré par rapport à la distribution primitive, implique la faculté réductrice beaucoup moins élevée que ne le laisse supposer sa valeur numérique. (Voir « Notes additionnelles », I, et la fig. 27.)

(2) C'est une hypothèse similaire qu'a faite tout récemment M. E. Stark [113]. Cet auteur a étudié le métabolisme de base de 62 étudiants, hommes âgés de 17 à 21 ans, de taille très variée, mais de corpulence « typique » dans la plupart des cas. Les calculs statistiques faits par l'auteur cité ont montré que « l'on ne gagne pratiquement pas dans la précision du pronostic [du métabolisme de base] lorsque la taille est considérée en plus du poids ».

ii. *Bohnenkamp* n'a pas apporté un nombre suffisant d'observations susceptibles d'appuyer l'hypothèse de l'abaissement du métabolisme de base chez les obèses. Il l'admet plutôt qu'il ne le prouve. Voici comment s'exprime cet auteur [22] :

« A notre avis, nous voyons plutôt, en accord avec les observations sur les espèces animales et — du moins en ce qui concerne le sens du phénomène — en accord avec les observations cliniques de la plupart des formes de l'obésité, que les valeurs que l'on devrait tirer de ces observations s'écartent partout des valeurs standard du métabolisme de base employées couramment. C'est ainsi que, dans le cas des hommes obèses, on trouve des valeurs plus petites et, dans le cas de la maigreur, des valeurs plus élevées que celles indiquées par les tables des références. » [p. 875.]

Cependant, est-ce bien en accord avec les observations cliniques ?

iii. *Recherches médicales.* L'étude du métabolisme des obèses, pratiquée du point de vue médical, a entraîné un grand nombre de publications. D'une façon générale, on admet qu'il existe des obèses présentant un métabolisme de base normal comme il en existe d'autres dont le métabolisme est augmenté ou diminué. On a cherché ainsi à caractériser des groupes d'obèses suivant la répercussion que produit l'obésité sur les échanges de base. Les différents auteurs ont relevé d'après leur expérience personnelle des pourcentages variés de cas montrant le métabolisme modifié dans un sens ou dans un autre. Ils en ont tiré des conclusions d'ordre pathogénique ou thérapeutique.

Les premières recherches effectuées sur les échanges respiratoires des obèses paraissent fournir une base expérimentale à la théorie de Harris et Benedict et à celle de Bohnenkamp. Rubner [110], Magnus Lévy [87], Jaquet et Svenson [63], Stœhelin [115], Robin [106] ont trouvé chez les obèses à jeun un métabolisme de base normal à condition que l'on défalquât le poids de graisse de leur masse corporelle totale, ou en d'autres termes, à condition de rapporter leurs échanges

non pas au poids réel, mais au poids « idéal ». [Labbé et Stévenin, 70.]

D'autres auteurs sont arrivés à admettre la normalité des échanges énergétiques de base chez les obèses en prenant en considération leur poids réel. Ainsi, Boothby et Sandiford [26] ont constaté sur 94 cas d'obèses, hommes et femmes, des valeurs comprises entre $\pm 10 \%$ dans 81 % de cas ; entre $\pm 15 \%$, dans 95 % de cas. Il n'y avait que 5 % du nombre total d'obèses qui présentèrent des valeurs du métabolisme s'écartant de plus de $\pm 15 \%$ des valeurs standard employées par ces auteurs.

Dans une récente revue consacrée au métabolisme de base, Hermann [59] a ajouté à cette statistique celle de Means [94], comme celle de Strouse, Wang et Dye [116] et celle de Barach et Draper [6], ce qui correspond aux 263 cas examinés. Parmi ces observations, on trouve 75 à 80 % de métabolismes normaux. Labbé et Stévenin [69] et Stévenin [114], sur 150 cas, donnent les pourcentages suivants : normaux 75 %, augmentés 10 %, diminués 15 %. De leur côté, Faillie et d'Arbois de Jubainville [45] ont observé les chiffres de 46 % de métabolismes normaux contre 54 % abaissés. D'Arbois [2], sur 60 cas examinés, constate 29 métabolismes diminués. De même, Kermorgant [67] montre que, sur 265 obèses, 59 présentent un métabolisme normal, 19 augmenté et 187 diminué (1).

Si bien que Laniez [74-75] a repris tout dernièrement la distinction des premiers auteurs entre le poids « réel » et le poids « idéal » des obèses comme facteurs influençant les échanges de base. D'après cet auteur, les réserves de l'organisme ne peuvent modifier « d'aucune façon » la production calorifique ; ainsi « si nous observons des sujets *notoirement anormaux quant à la surface, soit par obésité, soit par maigreur* [c'est l'auteur qui souligne], le raisonnement établi dans la partie critique nous montre que toute référence des calories à la surface actuelle des sujets est *une impossibilité*

(1) Récemment, Rathery et Plantefol [102] ont fait une enquête statistique nouvelle sur le métabolisme de base des diabétiques en fonction de l'indice d'obésité. Ils concluent de leurs recherches à l'existence d'un minimum des échanges de base caractérisant les sujets de corpulence normale. De part et d'autre de ce minimum, le métabolisme de base augmente, qu'il s'agisse des obèses ou des maigres.

logique, une absurdité » (c'est nous qui soulignons) [Laniez, 74, p. 71] ». « Chez l'obèse dont la surface est exagérée, le métabolisme est au-dessous de sa vraie valeur. Chez le maigre, le métabolisme est artificiellement accru pour des raisons inverses » et l'auteur se déclare être d'accord sur ce point avec Hédon, Dreyer, Stones, Evans et Straus et Gondard [Laniez, 75].

Il serait malaisé de tirer des conclusions fermes de ces différents travaux. Les statistiques de Labbé et Stévenin et de Stévenin ne concordent nullement avec celles de Kermorgant, de Faillie et d'Arbois de Jubainville et de d'Arbois.

Les raisons de ces divergences résident, nous semble-t-il, en ceci :

1. De telles statistiques sont faites le plus souvent de la façon suivante. On fixe à l'avance les limites entre lesquelles le métabolisme de base doit être considéré comme normal. Par exemple, on ne tient pas compte des écarts de plus ou moins 15 p. 100 par rapport aux valeurs standard. Les valeurs du métabolisme de base inférieures ou supérieures à ces valeurs limites sont tenues pour « anormales ». Or cette marge de « normalité » n'est pas la même pour les différents auteurs.

2. Tous les auteurs n'ont pas eu recours aux mêmes valeurs standard. Or, les récentes recherches ont montré que certaines tables de références surestiment le métabolisme des sujets normaux. C'est le cas de la table si employée d'Aub et Du-Bois [3-4]. Cette table donne des valeurs supérieures de plus de 5 p. 100 à celles qu'il y a lieu de considérer comme normales. Il en résulte qu'un certain nombre d'obèses, dont le métabolisme a été considéré comme diminué, ont en réalité des échanges normaux.

3. Ces différentes statistiques précisent bien le pourcentage d'une telle ou telle modification du métabolisme de base chez les obèses ; mais elles n'indiquent pas en général si ces modifications sont fonction d'un certain *degré* d'obésité. Il peut paraître vraisemblable que la modification des moyennes des valeurs individuelles du métabolisme de base se fait d'une façon différente chez les petits et les grands obèses. Or, nous ne sommes pas toujours renseigné si les populations d'obè-

ses envisagés par différents auteurs sont comparables à ce point de vue.

4. Le régime alimentaire des obèses a une influence certaine sur le métabolisme de base. A ce point de vue, les femmes et les hommes se conduisent généralement d'une façon sensiblement différente. Alors que les femmes obèses se restreignent, dans la plupart des cas, volontairement, les hommes continuent à prendre une nourriture trop abondante, malgré leur état d'adiposité. Or, on mélange dans certains cas les statistiques trouvées sur les deux sexes pour en tirer une conclusion générale.

5. Les différences entre les deux sexes se retrouvent également lorsqu'on considère ces statistiques à un autre point de vue. Chez les hommes, le rapport très élevé poids/taille peut traduire dans certains cas, assez nombreux, un développement particulièrement marqué de la musculature. Chez les femmes, l'élévation de ce rapport est liée, dans la quasi-totalité des cas, à une augmentation de la surcharge graisseuse.

iv. *Discussion.* Le métabolisme de base des sujets normaux est caractérisé non seulement par une certaine valeur moyenne, attachée à un ensemble de facteurs biométriques présentés par le sujet, mais également par le caractère de la distribution de ces valeurs dans un groupe d'individus. Parmi les sujets dits normaux, on peut trouver un certain pourcentage de ceux qui présentent une légère diminution du métabolisme basal ou un certain degré de son augmentation. Ceci, qu'il s'agisse des petits dysthyroïdiens ou des dystoniques du système neuro-végétatif, des insuffisants glandulaires (légers troubles ovariens, hépatiques, etc.), ou encore des sujets présentant des troubles gastro-intestinaux. Benedict [13] a récemment insisté sur le fait que l'on trouve chez certains sujets, que tout porte à considérer comme normaux, des écarts assez considérables par rapport à telles ou telles valeurs standard du métabolisme de base. Ces écarts se retrouvent dans les conditions de recherches de laboratoire. Que faut-il penser alors des déterminations faites par les médecins sur les sujets *qui sont venus les consulter* et qui peuvent présenter, dans un certain nombre de cas, un déséquilibre des

échanges ? Raison de plus pour trouver dans ces conditions, même parmi des sujets de corpulence normale et ne présentant pas d'affection nettement caractérisée, des individus dont les échanges sont légèrement augmentés ou diminués. Il faut donc s'attendre à trouver des fluctuations analogues chez les sujets obèses. *Le tout est de savoir si la répartition des valeurs individuelles du métabolisme de base est ou n'est pas fonction de l'indice d'obésité des sujets examinés.*

Ainsi, afin de comparer le métabolisme de base des obèses à celui des personnes normales, il semble bien qu'on doive exiger :

1. Des mesures faites sur un grand nombre de sujets du même sexe.

2. Des mesures effectuées sur des sujets présentant des indices d'obésité différents ; sujets appartenant à la même classe sociale et choisis d'après le même critère.

3. Les déterminations faites sur ces différents sujets doivent être pratiquées suivant la même méthode et dans les mêmes conditions expérimentales.

4. Le métabolisme de base constaté sur les sujets ainsi choisis doit être rapporté, dans chaque cas individuel, à la même échelle de références. Il y a lieu de considérer non seulement les moyennes calculées d'après ces valeurs individuelles, mais également les distributions de ces valeurs.

C'est ainsi que l'on pourrait trouver éventuellement la présence de plusieurs sommets sur la courbe des fréquences tracée d'après les résultats obtenus sur les obèses. Une telle constatation aurait permis de conclure à l'existence de groupes d'obèses nettement distincts, caractérisés par un certain niveau de leurs échanges de base. (Voir « Notes additionnelles », III.)

Seule cette méthode peut fournir la réponse à la question que nous avons posée : l'état d'obésité entraîne-t-il par lui-même, en tant que réducteur de la masse protoplasmique active et générateur du pannicule adipeux épais, un déplacement du niveau du métabolisme de base ?

Aussi avons-nous entrepris, en collaboration avec R. Faille [46], une enquête sur le métabolisme de base, d'environ

680 femmes, présentant des indices d'obésité très variés. Les résultats de cette enquête ont été communiqués récemment. Dans le présent travail, nous rapportons une étude statistique à la fois plus complète et plus précise portant sur le même groupe de sujets. Nos conclusions seront d'ailleurs les mêmes que celles auxquelles nous étions conduits avec R. Faillie dans notre première communication.

CHAPITRE II

ENQUÊTE STATISTIQUE SUR LE MÉTABOLISME DE BASE DES FEMMES OBÈSES

1^o Choix et répartition des sujets.

L'enquête statistique, dont les résultats seront exposés plus loin, a été effectuée sur des femmes adultes. Il s'agissait là de femmes qui se sont adressées au médecin afin qu'il leur prescrive une cure d'amaigrissement. Nous nous sommes arrêté au choix d'un tel groupe, étant donné qu'il fournit une échelle de gabarits très variée, allant des confins de la maigreur à l'obésité la plus prononcée. En effet, grâce à l'exigence de la mode, ou par nécessité professionnelle, certaines femmes, présentant un poids sensiblement normal ou même au-dessous de la moyenne, se croient justiciables d'une cure d'amaigrissement. Il est donc particulièrement facile de faire sur une telle population une étude du métabolisme de base en fonction de l'adiposité. De plus, pour faire mieux ressortir le caractère de cette étude comparative, nous avons ajouté à ces déterminations quelques-unes effectuées sur les femmes maigres désirant subir une cure d'engraissement. Notons enfin que le choix des femmes pour une telle étude est particulièrement indiqué pour des raisons que nous avons exposées à la page 31.

L'âge des sujets examinés variait de 19 à 61 ans. Étaient éliminées de nos observations celles des femmes atteintes d'une affection cliniquement caractérisée (maladie de Basedow,

myxœdème, tuberculose, diabète, etc.). D'ailleurs, leur nombre était extrêmement réduit. Si même nous les avions ajoutées au nombre total de déterminations, cela n'aurait pas entraîné de déplacement sensible des différents indices dont il sera question plus loin.

Nous n'avons pas non plus retenu de données concernant les sujets ayant été soumis à une opothérapie récente. Il convient de noter enfin que tous nos sujets appartenaient à une même classe sociale (aisée). Nous avons cherché à assurer ainsi la sécurité de notre enquête en ce qui concerne l'homogénéité et la sélection de la population examinée.

Les tableaux I-IV (1) et les graphiques 1-4 rendent compte, mieux qu'une description, de la distribution de nos sujets d'après l'âge, le poids, la taille et l'indice de gabarit.

L'indice d'adiposité utilisé est le même que celui dont Rathery et Plantefol [102] se sont servis dans leur travail. Il représente le rapport du poids à la taille diminuée de 105 centimètres $\left(\frac{\text{Poids}}{\text{taille} - 105 \text{ cm.}} \right)$. La discussion qui se rattache au choix de cet indice sera faite plus loin. Quels que soient les défauts d'un tel indice, il n'en reste pas moins qu'il nous permet de classer avec une certaine approximation les valeurs moyennes du métabolisme de base observées selon l'état d'adiposité des sujets examinés.

On voit, d'après les tableaux et les courbes représentées ci-dessous, que les répartitions des sujets d'après leur âge et leur taille sont à peu près symétriques. Par contre, les distributions des valeurs du poids et de celles de l'indice de gabarit sont légèrement asymétriques en rapport avec la prédominance de femmes dont l'indice d'obésité est relativement élevé. (Voir « Notes additionnelles », IV.)

(1) On verra que le nombre de sujets que totalise chacun de ces tableaux, ainsi que ceux qui vont suivre, est voisin de 680. Ce nombre n'est toutefois pas le même pour tous ces tableaux. En effet, dans certaines observations utilisées, une ou plusieurs données, nécessaires pour la construction d'un tableau ou d'un graphique particulier, manquent ou figurent implicitement dans un calcul fait antérieurement et dont les détails sont impossibles à reconstituer.

TABLEAU I.

Répartition des sujets d'après la taille.

	<i>Taille en centimètres :</i>						
	140-142	143-145	146-148	149-151	152-154	155-157	158-160
Nombre de sujets :	1	3	9	38	63	103	117
	<i>Taille en centimètres :</i>						
	161-163	164-166	167-169	170-172	173-175	176-178	179-181
Nombre de sujets :	132	98	57	34	18	2	2

TABLEAU II.

Répartition des sujets d'après l'indice d'obésité.

	<i>Indice d'obésité :</i>						
	0,70-0,79	0,80-0,89	0,90-0,99	1,00-1,09	1,10-1,19	1,20-1,29	1,30-1,39
Nombre de sujets :	7	29	49	82	99	110	83
	<i>Indice d'obésité :</i>						
	1,40-1,49	1,50-1,59	1,60-1,69	1,70-1,79	1,80-1,89	1,90-1,99	> 2,00
Nombre de sujets :	83	44	36	33	17	9	8

TABLEAU III.

Répartition des sujets d'après le poids.

	<i>Poids en kilogrammes :</i>								
	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79
Nombre de sujets :	2	12	28	45	63	105	75	76	85
	<i>Poids en kilogrammes :</i>								
	80-84	85-89	90-94	95-99	100-104	105-109			
Nombre de sujets :	50	46	36	23	21	4			

TABLEAU IV

Répartition des sujets d'après l'âge.

Age des sujets :

	19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-61
Nombre de cas observés :	15	60	96	104	110	107	97	57	27	3

Si l'on divise l'échelle des gabarits, telle qu'elle apparaît sur la figure 2, en deux portions égales, on constate que le point du milieu correspond à l'indice d'obésité de 1,40. Précisons, pour fixer les idées, que cet indice correspond, pour une taille de 1 m. 55 et pour une taille de 1 m. 70, respectivement à 70 et 91 kg. On voit donc que les femmes dont l'indice de gabarit est supérieur à 1,40 doivent être considérées comme présentant une surcharge graisseuse très importante.

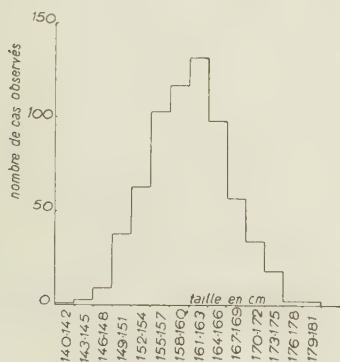


FIG. 1. — Répartition des sujets d'après la taille.

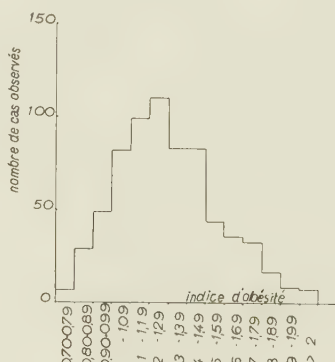


FIG. 2. — Répartition des sujets d'après l'indice d'obésité.

Aussi arbitraire que puisse paraître cette division, il n'en reste pas moins vrai qu'elle permet de séparer un groupe de femmes indiscutablement obèses du reste de la population. C'est pour cette raison que, dans l'exposé qui va suivre, nous rapportons les données relatives au métabolisme de base, tantôt en fonction, pour ainsi dire « continue », des valeurs croissantes des indices des gabarits, tantôt pour les deux groupes envisagés séparément. Dans un groupe désigné sous le nom d'« obèses », nous considérons des femmes dont l'indice

des gabarits est supérieur à 1,40 et dans l'autre, que nous appelons *conventionnellement* le groupe de « normales », le reste de la population. Le premier groupe compte environ 230 sujets et le second 450.

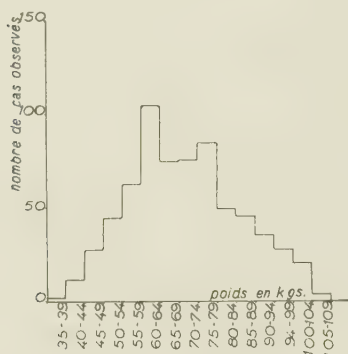


FIG. 3. — Répartition des sujets d'après le poids.

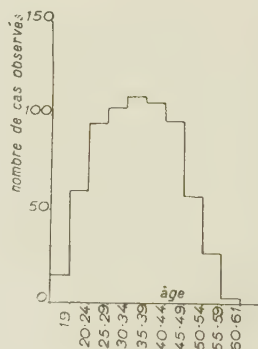


FIG. 4. — Répartition des sujets d'après l'âge.

Lorsque nous envisagerons dans la première partie de notre enquête l'évolution « continue » des valeurs du métabolisme de base en fonction des indices des gabarits, nous serons naturellement amenés à considérer non pas les valeurs isolées, mais des groupes de valeurs de cet indice. Ces groupes seront aussi petits que possible, caractérisés par l'intervalle de classe égal à 0,1 (échelle de gabarits). (Voir « Notes additionnelles, IV. ») Cependant, dans certains cas, il nous a paru plus avantageux de réunir ces groupes deux à deux. Leur nombre est ainsi réduit de moitié en même temps que la précision des moyennes correspondantes se trouve accrue.

Le tableau II montre que nous avons pu ainsi déterminer les moyennes du métabolisme de base, tirées de plusieurs dizaines de déterminations, effectuées chez des femmes dont le poids du corps allait, pour une taille donnée, du simple au double et même davantage.

La technique expérimentale de la détermination du métabolisme de base était la même dans tous les cas : méthode de circuit ouvert : spiromètre de Tissot ; eudiomètre de Laulanié. L'analyse de trois échantillons pris au cours d'une seule expérience était faite pour chaque détermination. Toutes les précautions d'usage ont été respectées.

2° Double aspect de l'enquête entreprise.

L'enquête que nous avons entreprise se présente sous un double aspect. D'une part, nous avons envisagé les valeurs relatives du métabolisme de base, calculées par rapport aux valeurs standard proposées par divers auteurs. Ainsi cette première partie de notre enquête est naturellement subordonnée au bien-fondé des tables de références auxquelles nous avons eu recours.

Dans la deuxième partie de notre enquête, nous avons confronté directement les données expérimentales obtenues, concernant, d'une part, les échanges de base et, de l'autre, les valeurs des divers facteurs biométriques, sans passer par l'intermédiaire des tables de références. Ainsi cette deuxième partie conserve son intérêt, quel que soit le degré d'exactitude des valeurs standard utilisées.

3° Valeurs relatives du métabolisme de base, calculées par rapport aux valeurs standard proposées par divers auteurs.

a) RAPPEL DES VALEURS STANDARD

Afin de comparer nos sujets d'après leur métabolisme de base, nous avons tout d'abord rapporté ce dernier aux valeurs standard proposées antérieurement par divers auteurs. Parmi ces valeurs standard, nous avons retenu :

1° Celles de Harris et Benedict [56] ; 2° celles de Dreyer [41] ; 3° celles de Boothby et Sandiford [27], la surface étant calculée suivant la formule des Du-Bois [42] et 4° celles d'Aub et Du-Bois [3-4], la surface étant calculée d'après Bouchard [28] (abaque de Faillie) [44]. Nous allons les envisager en détail les unes après les autres.

1. La formule biométrique de Harris et Benedict [56] est la suivante :

$$\text{Met.} = 655,096 + 9,563 \text{ poids} + 1,850 \text{ taille} - 4,676 \text{ âge} \quad [19]$$

Cette équation permet d'évaluer le métabolisme de base par 24 heures lorsque le poids est exprimé en kilogrammes, la taille en centimètres et l'âge en années. Cette formule indique

que le métabolisme croît linéairement avec le poids et la taille et qu'il décroît linéairement avec l'âge. Nous l'avons déjà discutée plus haut.

2. L'équation de Dreyer [41] tient compte seulement du poids et de l'âge. Appliquée aux femmes, elle se traduit par l'expression suivante :

$$M = \frac{\sqrt{P}}{0,1127 \times A^{0,1333}} \quad [20]$$

Le métabolisme (M) étant calculé par 24 heures, le poids (P) exprimé en grammes et l'âge (A) en années.

On voit, d'après cette équation, qu'à âge constant le métabolisme de base croît proportionnellement à la racine carrée du poids. A poids fixe, il croît en raison inverse de l'âge. Cette équation a été étudiée récemment sur un groupe de sujets par Benedict comparativement avec les valeurs standard fournies par Harris et Benedict et par Aub et Du-Bois. C'est l'équation de Dreyer qui a donné lieu à l'écart moyen minimum entre les valeurs observées et celles prédites par l'une de ces trois tables de références [13].

3. Les valeurs standard de Boothby et Sandiford ont été récemment communiquées par ces auteurs. Ils se sont appuyés sur 5.066 déterminations. Ces valeurs correspondent au nombre de Calories par unité de surface et par heure, la surface étant calculée d'après Du-Bois. Nous donnons ci-dessous la partie du tableau publié par Boothby et Sandiford [27], concernant le métabolisme des femmes adultes.

Age	Calories par mètre carré de surface et par heure.
19	37,3
20-24	36,9
25-29	36,6
30-34	36,2
35-39	35,8
40-44	35,3
45-49	35,0
50-54	34,5
55-59	34,0
60-64	33,8

On verra que ces valeurs sont légèrement inférieures à celles données antérieurement par Aub et Du-Bois.

L'équation de la surface des Du-Bois [42] est la suivante :

$$S = P^{0,425} \times T^{0,725} \times 71,84 \quad [21]$$

Dans cette équation, le poids (P) est exprimé en kilogrammes, la taille (T) en centimètres et la surface (S) en centimètres carrés.

4. Nous avons calculé également la surface de nos sujets d'après l'équation tirée des déterminations faites par Bouchard.

Pour déterminer la valeur de la surface, il convient, d'après cet auteur, de tenir compte du poids, de la taille et du tour de taille. Pour un individu de gabarit normal, les valeurs de la surface calculées d'après Bouchard sont sensiblement identiques à celles tirées de l'équation des Du-Bois. Pour les sujets obèses, les déterminations faites par Bouchard montrent des valeurs systématiquement supérieures à celles que laisse prévoir l'équation des Du-Bois. Aussi avons-nous tenu à calculer la surface de nos sujets d'après la méthode de Bouchard.

Les valeurs du métabolisme de base calculées par unité de surface (celle-ci étant déterminée d'après la méthode de Bouchard) ont été comparées aux valeurs standard universellement connues d'Aub et Du-Bois [3-4].

Nous rapportons ces dernières ci-dessous afin de compléter le rappel des diverses tables de références que nous venons d'indiquer.

Age	Calories par mètre carré de surface et par heure.
18-20	38
20-30	37
30-40	36,5
40-50	36
50-60	35
60-70	34

b) DISCUSSION CONCERNANT L'APPLICATION AUX SUJETS
OBÈSES DES VALEURS STANDARD PROPOSÉES
PAR DIVERS AUTEURS.

Comme nous l'avons déjà indiqué, cette première partie de notre travail a été effectuée d'après la méthode suivante : Chaque valeur du métabolisme de base observé est comparée à une valeur standard tirée de chacune des quatre tables de références, indiquées plus haut. Les valeurs individuelles sont exprimées alors en pour-cent des valeurs standard correspondantes. Les moyennes des valeurs relatives ainsi calculées doivent montrer si le métabolisme de base diminue ou ne diminue pas avec l'augmentation des réserves graisseuses. Or, on peut se demander dans quelle mesure ces tables de références, elles-mêmes, tiennent compte implicitement de cette diminution éventuelle. Chacune d'elles, en effet, est dressée de façon à prévoir le métabolisme d'un sujet présentant un poids donné. Du fait que l'on trouve dans ces tables des indications sur le métabolisme des sujets obèses, n'est-il pas logique de déduire qu'elles contiennent en elles-mêmes la solution du problème que nous cherchons à résoudre ?

Il est difficile de faire valoir cette « objection *a priori* » en ce qui concerne les valeurs standard de Harris et Benedict, ainsi que celles de Dreyer. Dans le choix de la population qui a servi à Harris et Benedict à formuler leur équation biométrique, ces auteurs ont eu le souci constant et scrupuleux de lui conserver le caractère d'une population « normale ». Nous avons pu d'ailleurs nous rendre compte que cette équation ne prévoit pratiquement pas de diminution du métabolisme de base des femmes en fonction de l'obésité (voir p. 26). Il en est de même des valeurs standard de Dreyer que nous venons de rappeler. En effet, cet auteur a tiré ses équations de la population qui a servi à Harris et Benedict à formuler les leurs. Il convient de signaler à ce propos que l'équation de Dreyer ne devrait s'appliquer, d'après la pensée de cet auteur, qu'à des sujets de corpulence normale. En ce qui concerne les individus qui présenteraient un poids anormal, l'auteur recommande de se servir d'une autre équation, où le

poids serait calculé théoriquement d'après les valeurs de la hauteur du tronc et du périmètre thoracique (1).

Quant aux autres tables de références utilisées plus loin, elles donnent les valeurs du métabolisme de base en fonction de la surface, quel que soit le rapport du poids à la taille des individus examinés.

Nous avons vu d'ailleurs plus haut que Bohnenkamp se refuse à considérer ces diverses valeurs standard comme valables pour les sujets obèses.

c) RÉSULTATS OBTENUS.

Nous avons ainsi comparé chaque valeur du métabolisme de base observée à celle tirée des tables de références dressées d'après les quatre méthodes différentes indiquées plus haut. Les tableaux V-VIII montrent respectivement la distribution des valeurs relatives à chaque table de référence utilisée. Le tableau IX, *a* et *b*, résume toutes ces données et en fournit d'autres, concernant des groupes de femmes dont l'indice de gabarits varie entre des limites plus étroites. Chaque moyenne, caractérisant des groupes de femmes dont l'indice d'obésité varie de 0,10 autour d'une valeur centrale, est accompagnée de son erreur probable (voir « Notes additionnelles », III). De plus, les σ des distributions et les erreurs probables qui se rattachent à leurs valeurs figurent également sur ces tableaux (EP_m et EP_σ).

i) Comparaison des moyennes.

1. *L'examen des tableaux V et VI montre que les moyennes des valeurs individuelles relatives du métabolisme de base, calculées par rapport à celles indiquées par Harris et Benedict et*

(1) Voici d'ailleurs comment s'exprime cet auteur [41]. En appliquant sa formule courante, il constate certains écarts entre les valeurs du métabolisme de base observé et calculé, même pour les individus de corpulence sensiblement « normale ». Il fait alors la remarque suivante : « ...Il convient d'indiquer que les déviations constatées dans le cas d'application de la formule de l'auteur pourraient être considérablement réduites si l'on avait tenu compte de la hauteur du tronc et du périmètre thoracique. » [p. 291.]

TABLEAU V
Distribution des valeurs relatives du métabolisme de base, exprimé en % des valeurs standard de Harris et Benedict.

Métabo- lisme en %	70-74	75-79	80-84	85-89	90-94	95-99	100-104	105-109	110-114	115-119	120-124	125-129	Nombre de cas observés	Moyennes $\pm$ EP	$\sigma \pm$ EP
Gabarit															
0,70 — 0,79	—	1	—	—	1	3	2	—	—	—	—	—	7	95,6	—
0,80 — 0,99	2	3	3	11	15	12	6	14	7	3	1	1	78	98,0 $\pm$ 0,88	11,6 $\pm$ 0,62
1,0 — 1,19	1	3	13	21	27	29	37	23	17	8	2	—	175	98,7 $\pm$ 0,54	10,5 $\pm$ 0,38
1,20 — 1,39	1	3	9	24	36	33	37	24	15	5	3	3	193	98,8 $\pm$ 0,49	10,2 $\pm$ 0,35
1,40 — 1,59	1	2	6	10	18	26	28	15	12	4	4	1	127	100,0 $\pm$ 0,61	10,2 $\pm$ 0,43
1,60 — 1,79	2	—	1	4	11	17	18	10	3	1	1	1	69	99,7 $\pm$ 0,75	9,2 $\pm$ 0,37
1,80 — 1,99	—	—	2	1	5	4	4	3	5	1	1	—	26	101,3 $\pm$ 1,32	10,0 $\pm$ 0,34
> 2,0	—	—	1	1	2	2	2	—	—	—	—	—	8	94,9	—
0,70 — 1,39	4	10	25	56	79	77	76	61	39	16	6	4	453	98,6 $\pm$ 0,33	10,5 $\pm$ 0,23
— 1,40	3	2	10	16	36	49	52	28	20	6	6	2	230	99,9 $\pm$ 0,45	10,2 $\pm$ 0,32
Total	7	12	35	72	115	126	128	89	59	22	12	6	683	99,4 $\pm$ 0,27	10,3 $\pm$ 0,19

TABLEAU VI.
Distribution des valeurs relatives du métabolisme de base, exprimé en % des valeurs standard de Dreyer

Métabo- lisme en % Gabarit	70-74	75-79	80-84	85-89	90-94	95-99	100-104	105-109	110-114	115-119	120-124	125-129	Nombre de cas observés	Moyennes $\pm$ EP	$\sigma \pm$ EP
0,70 — 0,79	—	—	—	1	1	4	—	1	—	—	—	—	7	96,2	—
0,80 — 0,99	1	3	3	8	15	11	8	13	7	6	1	1	77	99,8 $\pm$ 0,89	11,6 $\pm$ 0,63
1,00 — 1,19	2	1	11	21	29	32	29	20	17	7	2	1	172	99,0 $\pm$ 0,52	10,0 $\pm$ 0,37
1,20 — 1,39	1	5	12	21	39	38	28	26	10	8	3	—	191	98,3 $\pm$ 0,49	10,0 $\pm$ 0,34
1,40 — 1,59	1	1	8	13	19	29	22	19	8	5	2	—	127	98,9 $\pm$ 0,58	9,7 $\pm$ 0,41
1,60 — 1,79	1	—	1	6	16	14	13	12	4	1	1	1	70	99,5 $\pm$ 0,74	9,2 $\pm$ 0,52
1,80 — 1,99	—	—	2	2	4	4	5	5	2	2	—	—	26	100,5 $\pm$ 1,27	9,6 $\pm$ 0,90
> 2,0	—	—	—	—	1	1	2	1	—	—	—	—	5	101,5	—
0,70 — 1,39	4	9	26	51	84	85	65	60	34	21	6	2	447	98,9 $\pm$ 0,33	10,4 $\pm$ 0,23
> 1,40	2	1	11	21	40	48	42	37	14	8	3	1	228	99,3 $\pm$ 0,43	9,6 $\pm$ 0,30
Total	6	10	37	72	124	133	107	97	48	29	9	3	675	99,0 $\pm$ 0,27	10,5 $\pm$ 0,19

par rapport à celles déduites de l'équation de Dreyer, sont sensiblement les mêmes d'un bout à l'autre de l'échelle de gabarits (1). Les faibles différences que l'on constate entre les moyennes ne peuvent pas être tenues pour significatives.

En effet, lorsqu'on envisage les différences constatées entre deux moyennes successives du métabolisme de base considérées en fonction de l'indice d'obésité, on constate qu'elles n'atteignent jamais le double de leurs erreurs probables (EP) (2).

Nous avons rangé ci-dessous les différences entre les moyennes successives représentées sur les tableaux V et VI en fonction du gabarit. Nous avons exprimé ces différences en leurs erreurs probables.

Gabarit :	0,80-0,99	1,00-1,19	1,20-1,39	1,40-1,59	1,60-1,79	1,80-1,99
Harris et Benedict	1,7	0,1	1,5	0,4	1,1	
Dreyer	0,2	1,0	0,8	0,6	0,7	

Les différences qui séparent les valeurs extrêmes des moyennes du métabolisme de base, constatées en envisageant toute l'échelle des gabarits, valent respectivement 2,1 fois (Harris et Benedict) et 1,4 fois (Dreyer) leurs erreurs probables. Celles entre les deux moyennes qui se rattachent chacune à l'un ou à l'autre groupe des femmes (celui des « obèses » et celui des « normales ») sont respectivement de 2,3 (Harris et Benedict) et de 0,7 (Dreyer) erreurs probables.

Le métabolisme de base, calculé par rapport à ces valeurs standard, ne présente donc aucune évolution significative avec le gabarit.

2. Par contre, si l'on considère les moyennes des valeurs relatives individuelles du métabolisme de base calculées par rapport aux valeurs standard de Boothby et Sandiford (la surface étant calculée d'après Du-Bois) ou par rapport à

(1) Un coup d'œil jeté sur ces tableaux montre que nous avons trouvé en moyenne des valeurs du métabolisme de base inférieures à celles indiquées par les valeurs standard (prises pour 100). Ce résultat ne fait que confirmer les conclusions récentes de Benedict qui a trouvé également que les valeurs standard antérieures surestiment en général la grandeur normale du métabolisme de base [13].

(2) Rappelons que, d'une façon générale, l'on ne tient pas pour significative une différence qui n'est pas supérieure à quatre fois son erreur probable. (Voir « Notes additionnelles », II.)

TABLEAU VII.
Distribution des valeurs relatives du métabolisme de base, exprimé en % des valeurs standard de Boothby et Sandiford.
Surface calculée d'après l'équation de Du-Bois.

Métabo- lisme en % Gabarit	70-74	75-79	80-84	85-89	90-94	95-99	100-104	105-109	110-114	115-119	120-124	125-129	Nombre de cas observés	Moyennes $\pm$ EP	$\sigma \pm$ EP
	—	1	—	—	1	4	1	—	—	—	—	—	7	94,6 —	—
0,70 — 0,79	—	1	—	—	1	4	1	—	—	—	—	—	7	94,6 —	—
0,80 — 0,99	4	1	8	15	12	9	14	9	4	1	—	1	78	94,1 $\pm$ 0,88	11,5 $\pm$ 0,62
1,00 — 1,19	1	11	15	26	38	25	25	21	8	4	1	2	177	95,6 $\pm$ 0,54	10,6 $\pm$ 0,38
1,20 — 1,39	4	4	19	30	32	35	34	14	11	4	4	—	191	95,9 $\pm$ 0,51	10,4 $\pm$ 0,36
1,40 — 1,59	1	3	10	13	32	18	24	11	12	1	1	1	127	97,2 $\pm$ 0,67	9,9 $\pm$ 0,47
1,60 — 1,79	1	—	1	5	17	17	15	9	3	—	2	—	70	98,5 $\pm$ 0,67	8,3 $\pm$ 0,48
1,80 — 1,99	—	—	2	1	3	7	2	6	3	2	1	—	27	101,1 $\pm$ 1,32	10,2 $\pm$ 0,94
> 2,0	—	—	—	—	—	2	1	2	—	—	—	—	5	102,5 —	—
0,70 — 1,39	9	17	42	71	83	73	74	44	23	9	5	3	453	95,5 $\pm$ 0,33	10,5 $\pm$ 0,24
> 1,40	2	3	13	19	52	44	42	28	18	3	4	1	229	98,1 $\pm$ 0,43	9,6 $\pm$ 0,31
Total	11	20	55	90	135	117	116	72	41	41	9	4	682	96,6 $\pm$ 0,27	10,3 $\pm$ 0,19

TABEAU VIII;
Distribution des valeurs relatives du métabolisme de base, exprimé en % des valeurs standard d'Aub et Du-Bois.
Surface calculée d'après Bouchard.

Métabo- lisme en % Gabarit	70-74	75-79	80-84	85-89	90-94	95-99	100-104	105-109	110-114	115-119	120-124	125-127	Nombre de cas observés	Moyennes $\pm$ EP	$\sigma \pm$ EP
0,70 — 0,79	—	1	—	—	2	3	1	—	—	—	—	—	7	93,0	
0,80 — 0,99	4	3	8	13	16	8	10	9	1	1	1	1	75	93,4 $\pm$ 0,88	11,3 $\pm$ 0,62
1,00 — 1,19	5	9	26	29	33	25	27	16	6	2	3	—	181	93,5 $\pm$ 0,53	10,6 $\pm$ 0,37
1,20 — 1,39	5	11	17	37	40	35	21	15	7	3	—	—	191	92,9 $\pm$ 0,47	9,7 $\pm$ 0,33
1,40 — 1,59	1	7	7	24	32	26	11	12	3	3	1	—	127	94,0 $\pm$ 0,56	9,4 $\pm$ 0,40
1,60 — 1,79	1	—	3	14	22	13	13	3	1	1	—	2	73	95,2 $\pm$ 0,72	9,1 $\pm$ 0,51
1,80 — 1,99	—	1	1	2	8	3	4	5	3	1	—	1	29	99,1 $\pm$ 1,4	10,9 $\pm$ 0,98
> 2,0	—	—	—	2	1	2	—	—	—	—	—	—	5	97,5 —	—
0,70 — 1,39	14	24	51	79	91	71	59	40	14	6	4	1	454	93,2 $\pm$ 0,33	10,3 $\pm$ 0,23
> 1,40	2	8	11	40	64	43	30	20	7	5	1	3	234	95,1 $\pm$ 0,42	9,6 $\pm$ 0,30
Total	16	32	62	119	155	114	89	60	21	11	5	4	688	93,8 $\pm$ 0,26	10,1 $\pm$ 0,18

celles d'Aub et Du-Bois (la surface étant calculée d'après Bouchard), on constate une tendance nette à l'augmentation.

Il est vrai que si l'on compare comme précédemment les différences successives entre les moyennes du métabolisme de base envisagé en fonction du gabarit, on ne constate pas d'indication manifeste en faveur d'une telle augmentation. Soit successivement (voir tableaux VII et VIII) :

Gabarit :	0,80-0,99	1,00-1,19	1,20-1,39	1,40-1,59	1,60-1,79	1,80-1,99
Boothby et Sandiford (surface calculée d'après Du-Bois).	1,5	0,4	1,8	1,4	1,8	
Aub et Du-Bois (surface d'après Bouchard).	0,1	0,6	1,5	1,3	2,5	

Cependant, les différences entre les valeurs extrêmes des moyennes du métabolisme de base, constaté à travers toute l'échelle des gabarits envisagés, représentent, respectivement, 3,8 (Boothby et Sandiford) et 3,6 (Aub et Du-Bois) erreurs probables. Il n'y a qu'une chance sur 100 pour qu'une telle différence ne soit pas réelle.

Les différences entre les moyennes de deux groupes valent respectivement 4,8 fois (Boothby et Sandiford) et 3,6 fois (Aub et Du-Bois) leurs erreurs probables. Elles paraissent, par conséquent, significatives.

Cependant, il convient de faire remarquer :

a) *En ce qui concerne les valeurs du métabolisme de base comparé aux valeurs standard de Boothby et Sandiford (la surface étant calculée d'après Du-Bois) :*

Les différences constatées peuvent être partiellement rapportées à ce que la formule de Du-Bois sous-estime la surface des obèses. Rappelons, en effet, que les équations de Bouchard montrent pour ces sujets des valeurs systématiquement plus élevées que celles de Du-Bois.

Or, dans tous les cas, on trouve une *augmentation* du métabolisme avec le gabarit et *jamais de diminution* ; cette augmentation n'est d'ailleurs que de 2,6 p. 100 en comparant les moyennes de deux groupes de sujets examinés.

TABLEAU IX a.

Gabarit :		Valeurs relatives du métabolisme de base, exprimé en p. 100 des valeurs standard établies par													
Poids taille — 105 cm.	Harris et Benedict							Dreyer							
	Fréquence observée	Moyenne	Fréquence cumulée	Moyenne	EP _M	σ	EP _σ	Fréquence observée	Moyenne	Fréquence cumulée	Moyenne	EP _M	σ	EP _σ	
0,70-0,79	7	95,6	78	98,0	± 0,88	11,6	± 0,62	7	96,2	77	99,8	± 0,89	11,6	± 0,63	
0,80-0,89	29	98,7						29	100,8						
0,90-0,99	49	97,6						48	99,4						
1,00-1,09	82	98,4	175	98,7	± 0,54	10,5	± 0,38	81	99,0	172	99,0	± 0,52	10,0	± 0,37	
1,10-1,19	99	98,7						91	98,9						
1,20-1,29	110	98,3	193	98,8	± 0,49	10,2	± 0,35	109	97,7	191	98,3	± 0,49	10,0	± 0,34	
1,30-1,39	83	98,8						82	99,0						
1,40-1,49	83	100,1	127	100,0	± 0,61	10,2	± 0,43	83	98,9	127	98,9	± 0,58	9,7	± 0,41	
1,50-1,59	44	100,0						44	98,8						
1,60-1,69	36	102	69	99,7	± 0,75	9,2	± 0,37	37	101	70	99,5	± 0,74	9,2	± 0,52	
1,70-1,79	33	99,7						33	97,8						
1,80-1,89	17	100,2	26	101,3	± 1,32	10,0	± 0,94	17	99,5	26	100,5	± 1,27	9,6	± 0,90	
1,90-1,99	9	101,3						9	102,4						
> 2,0	8	94,9						5	101,5						
0,70-1,39			453	98,6	± 0,33	10,5	± 0,23			447	98,9	± 0,33	10,4	± 0,23	
> 1,40			230	99,9	± 0,45	10,2	± 0,32			228	99,3	± 0,43	9,6	± 0,30	
Total			683	99,1	± 0,27	10,3	± 0,19			675	99,0	± 0,27	10,5	± 0,19	

TABLEAU IX b.

Gabarit : $\frac{\text{Poids}}{\text{taille}} - \frac{105 \text{ cm.}}{105}$	Valeurs relatives du métabolisme de base, exprimé en p. 100 des valeurs standard établies par													
	Boothby et Sandiford Surface d'après Du-Bois							Aub et Du-Bois Surface d'après Bouchard-						
	Fréquence observée	Moyenne	Fréquence cumulée	Moyenne	EP _M	σ	EP _σ	Fréquence observée	Moyenne	Fréquence cumulée	Moyenne	EP _M	σ	EP _σ
0,70-0,79	7	94,6	78	94,1	± 0,88	11,5	± 0,62	7	93,0	75	93,4	± 0,88	11,3	± 0,62
0,80-0,89	30	95,9						28	93,3					
0,90-0,99	48	92,9						47	93,6					
1,00-1,09	81	94,9	177	95,6	± 0,54	10,6	± 0,38	80	93,5	181	93,5	± 0,53	10,6	± 0,37
1,10-1,19	96	95,6						101	93,5					
1,20-1,29	107	95,0	191	95,9	± 0,51	10,4	± 0,36	107	92,4	191	92,9	± 0,47	9,7	± 0,33
1,30-1,39	84	95,9						84	93,6					
1,40-1,49	84	97,1	127	97,2	± 0,67	9,9	± 0,47	81	93,7	127	94,0	± 0,56	9,4	± 0,40
1,50-1,59	43	97,3						46	94,6					
1,60-1,69	37	100,0	70	98,5	± 0,67	8,3	± 0,48	39	96,3	73	95,2	± 0,72	9,1	± 0,51
1,70-1,79	33	96,8						34	94,0					
1,80-1,89	18	99,8	27	101,1	± 1,32	10,2	± 0,94	18	98,0	29	99,1	± 1,4	10,9	± 0,98
1,90-1,99	9	103,8						11	101,0					
> 2,0	5	102,5						5	97,5					
0,70-1,39			153	95,5	± 0,33	10,5	± 0,24			454	93,2	± 0,33	10,3	± 0,23
> 1,40			229	98,1	± 0,43	9,6	± 0,31			234	95,1	± 0,42	9,6	± 0,30
Total			682	96,6	± 0,27	10,3	± 0,19			688	93,8	± 0,26	10,1	± 0,48

b) *En ce qui concerne les valeurs du métabolisme de base comparé aux valeurs standard d'Aub et Du-Bois (la surface étant calculée d'après Bouchard) :*

L'inspection du tableau VIII montre que, sur une étendue considérable de l'échelle des gabarits, telle que le poids des femmes examinées varie, à taille constante, du simple au double, les moyennes du métabolisme de base ne présentent que 2 p. 100 environ d'augmentation. Encore que la différence constatée ne vaut que 1,6 fois son erreur probable. *Autant dire que, pour cette étendue considérable de l'échelle des gabarits, le métabolisme de base rapporté à la surface ne présente pas de variation significative.*

Nous pouvons conclure, par conséquent, que, quelle que soit la méthode employée, le métabolisme de base semble présenter des valeurs constantes pour des gabarits extrêmement variés. C'est là une conclusion très importante et il nous a semblé utile de recourir à tous les moyens que les statisticiens mettent à notre disposition pour nous rendre compte si cette constatation exprime ou non la réalité des choses.

On pourrait se demander si, malgré l'identité des moyennes, les groupes des « normales » et des « obèses » ne se distinguent pas par la forme et les indices des distributions des valeurs du métabolisme de base ? On sait qu'une moyenne ne suffit pas pour caractériser une distribution. Si celles-ci se rapprochaient des distributions « gaussiennes », elles seraient complètement définies par les deux paramètres : moyennes et écarts quadratiques moyens (σ). S'il s'agissait des distributions que l'on ne pourrait pas identifier à celles de Gauss, un plus grand nombre de paramètres demanderaient à être précisés. Il y a donc intérêt à examiner, en détail, les distributions dont les moyennes ont été envisagées plus haut, afin de se rendre compte à quel point elles peuvent être assimilées aux distributions normales. Nous allons les passer en revue les unes après les autres, suivant les quatre méthodes de comparaison que nous avons utilisées.

ii) *Comparaison des distributions.*

1^o Les distributions des valeurs relatives du métabolisme de base, comparées aux valeurs standard de Harris et Benedict, sont représentées pour les deux groupes sur les figures 5, 6 et 7.

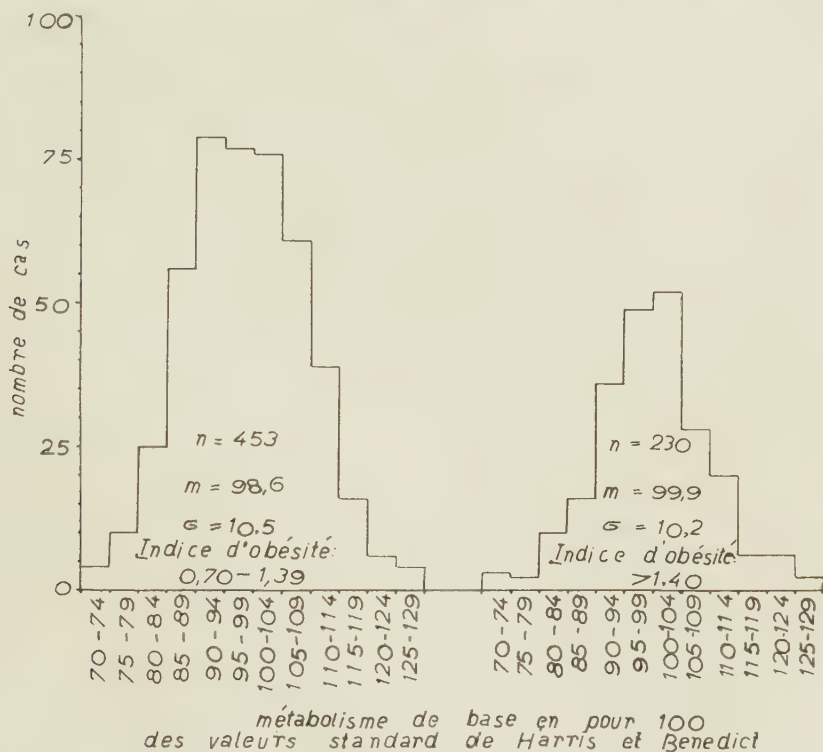


FIG. 5. — Répartition des valeurs du métabolisme de base dans les deux groupes de femmes examinées. Chaque métabolisme a été exprimé en p. 100 des valeurs standard établies par Harris et Benedict, en partant des données biométriques déterminées sur chaque sujet.

n = nombre d'observations ; m = moyenne ; σ = écart quadratique moyen.

Ces figures en donnent la représentation, l'une sous forme d'histogrammes, et les autres sous forme d'ogives de Galton (voir « Notes additionnelles », V). Sur ces dernières figures nous avons tracé des courbes théoriques normales, ayant pour paramètres les moyennes et les σ constatés pour chacun des deux groupes envisagés. Les cercles accolés à des courbes

représentent les fréquences réelles observées. L'accord semble être aussi bon que possible et il serait fastidieux de faire appel à des calculs pouvant traduire en termes de probabilité cette concordance.

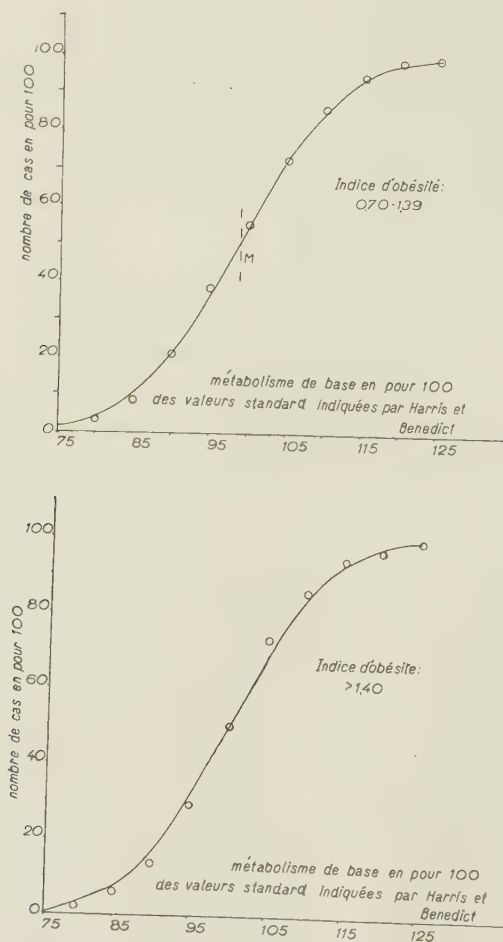


FIG. 6 et 7. — Sur ces figures, nous avons porté sur l'axe des abscisses les valeurs trouvées du métabolisme, exprimées en p. 100 de celles calculées pour chaque sujet d'après l'équation de Harris et Benedict. En ordonnées figurent les nombres de métabolismes qui ne dépassent pas chacune des valeurs indiquées sur l'axe des abscisses, ces nombres étant exprimés en p. 100 du nombre total d'observations faites respectivement sur le groupe des femmes « normales » et sur celui des femmes « obèses ».

Nous pouvons, par conséquent, mettre en valeur notre comparaison des moyennes grâce à celle des σ qui carac-

térisent ces distributions (voir le tableau V). Ces indices sont, respectivement, pour les « normales » et les « obèses », de $10,5 \pm 0,23$ et de $10,2 \pm 0,32$. La différence qui les sépare ne représente que 0,8 de son erreur probable. Ils sont donc pratiquement identiques.

Nous pouvons donc tenir les deux distributions se rapportant respectivement au groupe des « normales » et à celui des « obèses » (fig. 5) comme représentant une même distribution « idéale » des valeurs du métabolisme de base. (Voir « Notes additionnelles ».)

2° La même conclusion peut être tirée de la considération des distributions des valeurs relatives du métabolisme de base comparées aux valeurs standard de Dreyer. Les figures 8-10

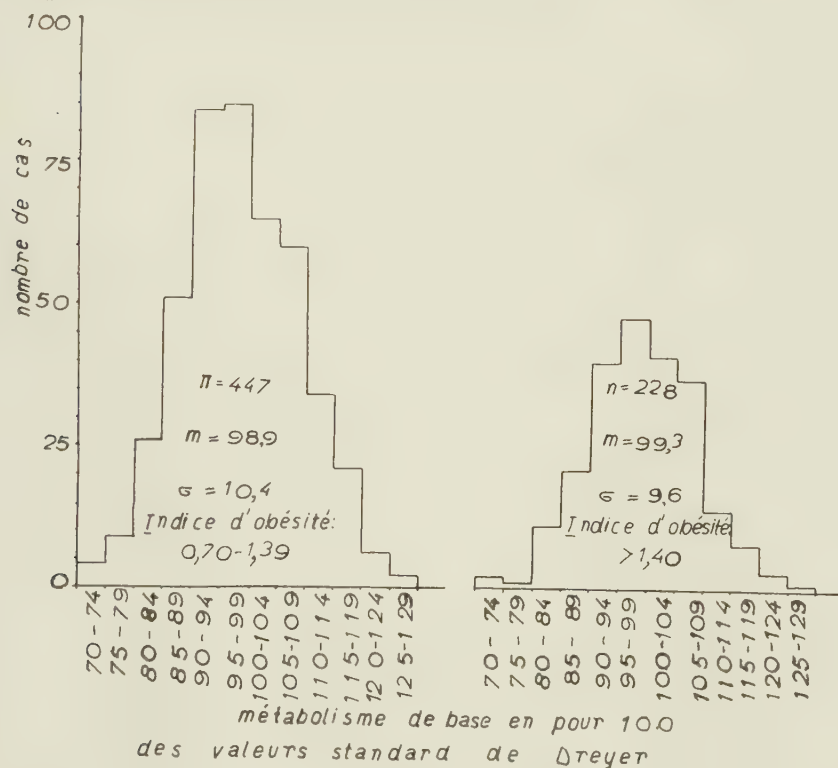


FIG. 8. — Répartition des valeurs du métabolisme de base dans les deux groupes de femmes examinées. Chaque métabolisme a été exprimé en p. 100 des valeurs standard établies par Dreyer, en partant des données biométriques déterminées pour chaque sujet.

n = nombre d'observations ; m = moyenne ; σ = écart quadratique moyen.

montrent ces distributions pour les deux groupes envisagés. Les indices sont, respectivement, pour les « normales et les « obèses », de $10,4 \pm 0,23$ et de $9,6 \pm 0,30$. La différence qui les sépare est environ deux fois plus élevée que son erreur probable. Elle n'est donc pas significative.

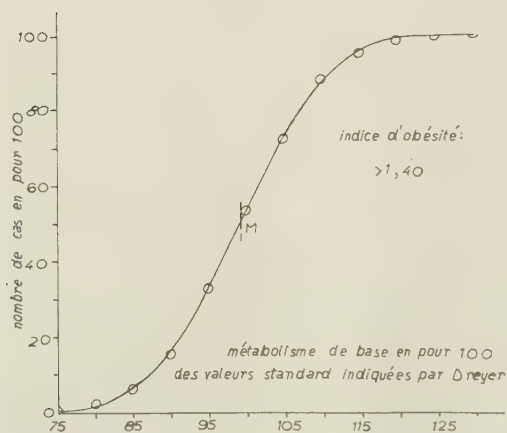
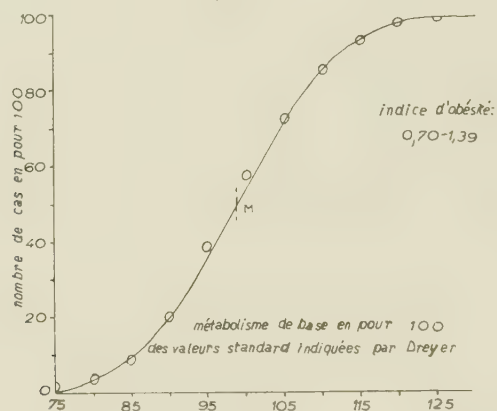


FIG. 9 et 10. — Sur ces figures nous avons porté sur l'axe des abscisses les valeurs trouvées du métabolisme de base, exprimées en p. 100 de celles calculées pour chaque sujet d'après l'équation de Dreyer. En ordonnées figurent les nombres de métabolismes qui ne dépassent pas chacune des valeurs indiquées sur l'axe des abscisses, ces nombres étant exprimés en p. 100 du nombre total d'observations faites respectivement sur le groupe de femmes « normales » et sur celui des femmes « obèses »

3° Nous avons vu que les moyennes des valeurs relatives du métabolisme comparé aux valeurs standard de Boothby et Sanniford (la surface étant calculée d'après l'équation de Du-Bois) ne sont pas tout à fait identiques dans les deux groupes envisagés. Ainsi, celle qui correspond au groupe des « obèses » est légèrement supérieure à celle qui caractérise le groupe des « normales ». Les figures 12-13 montrent que les moyennes ainsi calculées correspondent aux distributions qui sont toutes les deux sensiblement gaussiennes.

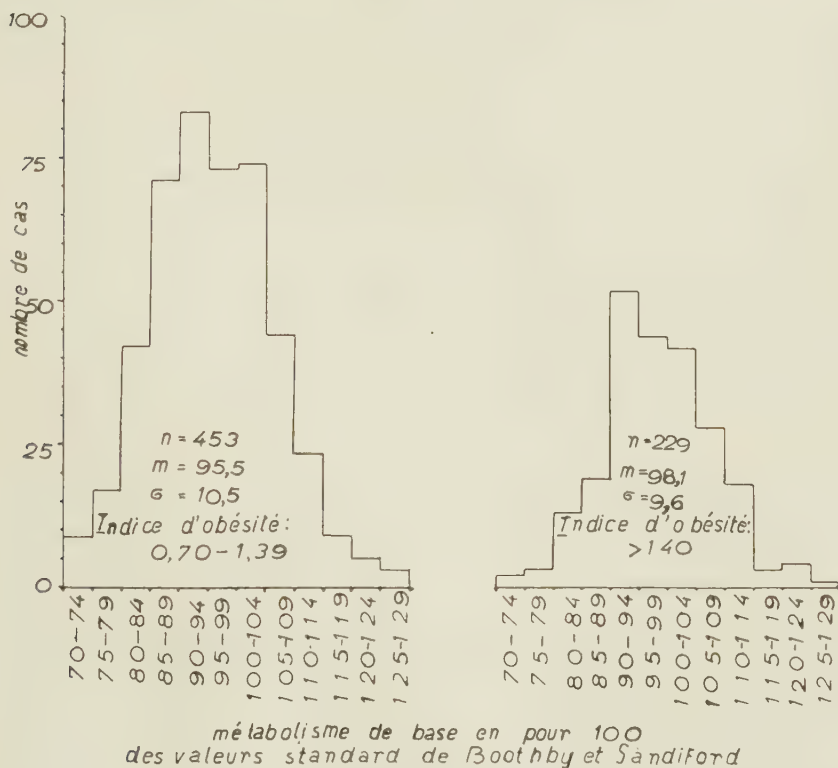


FIG. 11. — Répartition des valeurs du métabolisme de base dans les deux groupes de femmes examinées. Chaque métabolisme a été exprimé en p. 100 des valeurs standard établies par Boothby et Sandiford, en partant des données biométriques déterminées pour chaque sujet.

n = nombre d'observations ; m = moyenne ; σ = écart quadratique moyen.

Les indices de dispersion de ces deux distributions ne montrent pas de différences significatives. Les σ sont, respectivement, pour les « normales » et les « obèses », de $10,5 \pm 0,24$

et de $9,6 \pm 0,31$; leur différence ne vaut que 2,3 erreurs probables.

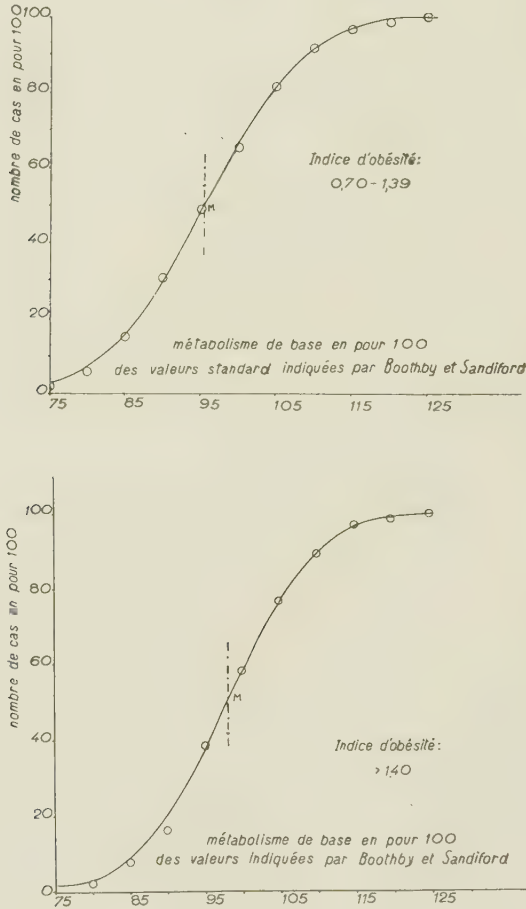


FIG. 12 et 13. — Sur ces figures, nous avons porté sur l'axe des abscisses les valeurs trouvées du métabolisme, exprimées en p. 100 de celles calculées pour chaque sujet d'après la table de Boothby et Sandiford. En ordonnées figurent les nombres de métabolismes qui ne dépassent pas chacune des valeurs indiquées sur l'axe des abscisses, ces nombres étant exprimés en p. 100 du nombre total d'observations faites respectivement sur le groupe des femmes « normales » et sur celui des femmes « obèses ».

4° Les figures 14-16 montrent les distributions que l'on observe lorsqu'on rapporte le métabolisme de base aux valeurs standard d'Aub et Du-Bois, la surface étant calculée d'après Bouchard. Celle qui concerne les femmes « normales » montre

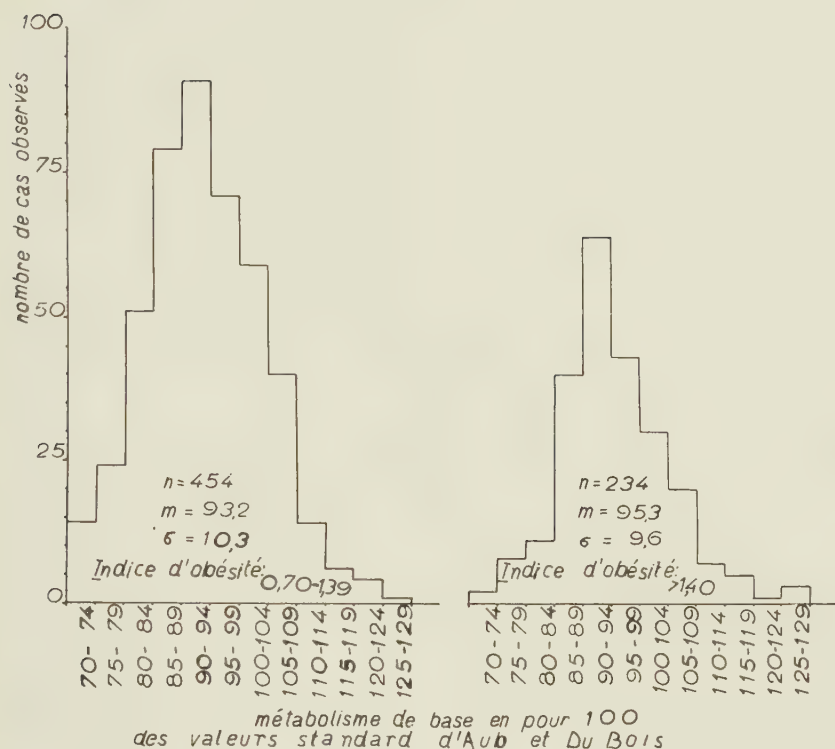


Fig. 14. — Répartition des valeurs du métabolisme de base dans les deux groupes de femmes examinées. Chaque métabolisme a été exprimé en p. 100 des valeurs standard établies par Aub et Du-Bois, en partant des données biométriques déterminées sur chaque sujet.

n = nombre d'observations ; m = moyenne ; σ = écart quadratique moyen.

un accord parfait avec la courbe théorique. Par contre, celle qui correspond aux femmes « obèses » est représentée par des points qui s'écartent plus ou moins d'une telle courbe. Le calcul de la fonction $\chi^2(1)$ montre que, même dans ce cas, le plus « mauvais » parmi ceux que nous venons de considérer, il y a environ 50 p. 100 de chances pour qu'une distribution gaussienne soit représentée dans un échantillon aussi réduit par un histogramme similaire à celui qui est figuré sur le graphique 14. Les indices de dispersion sont ici égaux, res-

(1) Calcul permettant de traduire en termes de probabilités la possibilité de faire figurer la population « idéale », représentée par un échantillon donné, par une courbe normale. (Voir « Notes Additionnelles ».)

pectivement, pour le groupe des « normales » et celui des « obèses », à $10,3 \pm 0,23$ et $9,6 \pm 0,30$. Leur différence est par conséquent aussi peu significative que celle des indices précédemment envisagés.

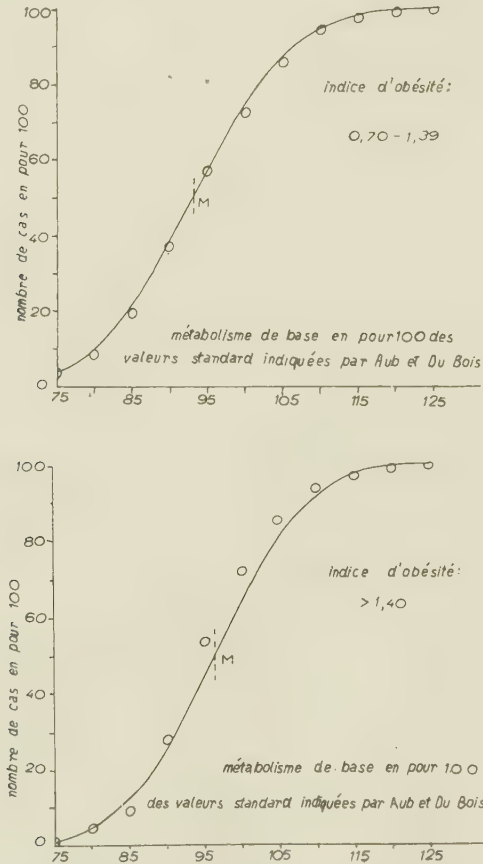


FIG. 15 et 16. — Sur ces figures nous avons porté sur l'axe des abscisses les valeurs trouvées du métabolisme, exprimées en p. 100 de celles calculées pour chaque sujet d'après la table d'Aub et Du-Bois. En ordonnées figurent les nombres de métabolismes qui ne dépassent pas chacune des valeurs indiquées sur l'axe des abscisses, ces nombres étant exprimés en p. 100 du nombre total d'observations faites respectivement sur le groupe des femmes « normales » et sur celui des femmes « obèses ».

Enfin, il convient de souligner que toutes les distributions des valeurs du métabolisme de base chez les femmes « obèses », que nous venons de passer en revue, ne donnent lieu qu'à des courbes à un seul sommet.

Ainsi, l'étude comparative des distributions des valeurs relatives du métabolisme de base vient confirmer les conclusions tirées de celle de leurs valeurs moyennes.

Quelle que soit la table de références utilisée, le métabolisme de base montre sensiblement les mêmes valeurs moyennes et les mêmes distributions pour une étendue considérable de l'échelle des gabarits. Lorsqu'on le rapporte à la surface, on constate une très légère tendance à l'augmentation chez les femmes présentant un indice d'obésité très élevé.

Nous avons d'ailleurs calculé directement le coefficient de corrélation entre le métabolisme de base rapporté aux valeurs standard d'Harris et Benedict et l'indice de gabarit, soit,

$$r_{mg} = 0,08 \pm 0,03 \quad [22]$$

C'est là une valeur qui peut être tenue pour nulle.

d) DISCUSSION

Aussi formelles que puissent paraître les raisons qui nous amènent à formuler cette conclusion, quelques objections peuvent néanmoins être formulées.

i) *Influence de l'âge.* La répartition des âges dans les deux groupes de sujets envisagés n'est pas la même. Parmi les femmes de gabarit normal, on compte relativement plus de femmes âgées de moins de 30 ans que parmi les femmes obèses. Or, l'on sait que les équations et les tables d'après lesquelles on calcule les valeurs standard indiquent un métabolisme de base plus élevé pour les femmes jeunes que pour les femmes âgées, toutes choses égales d'ailleurs. Pour peu que la précision de ces tables ne soit pas la même pour les femmes d'âge différent, leur application aux femmes de gabarits différents ne pourrait être admise avec sécurité dans l'étude que nous poursuivons.

Si, par exemple, l'abaissement des valeurs standard avec l'âge se trouve quelque peu exagéré, le nombre de valeurs relatives du métabolisme observé, calculées par rapport à ces standards se trouvant surestimées du fait de cette exagération, sera relativement plus élevé dans le groupe des femmes obèses que dans celui des femmes normales. Les moyennes calculées

TABLEAU X.
Distribution des valeurs relatives du métabolisme de base exprimé en % des valeurs standard de Harris et Benedict.
Femmes âgées de plus de 30 ans.

Métabo- lisme en %	70-74	75-79	80-84	85-89	90-94	95-99	100-104	105-109	110-114	115-119	120-124	125-129	Nombre de cas observés	Moyennes $\pm$ EP	$\sigma \pm$ EP
Garabit															
0,80 — 0,99	1	2	1	4	6	7	3	10	4	2	2	—	42	99,9 $\pm$ 1,23	11,7 $\pm$ 0,87
1,00 — 1,19	—	3	7	15	17	23	25	15	12	4	2	1	124	99,2 $\pm$ 0,61	10,2 $\pm$ 0,43
1,20 — 1,39	1	3	7	16	29	24	27	19	16	4	—	2	148	98,8 $\pm$ 0,56	10,1 $\pm$ 0,39
1,40 — 1,59	1	2	6	6	16	21	22	12	9	4	3	1	103	99,9 $\pm$ 0,71	10,6 $\pm$ 0,50
1,60 — 1,79	2	—	1	4	11	14	17	11	3	1	1	1	66	99,9 $\pm$ 0,79	9,5 $\pm$ 0,56
1,80 — 1,99	—	—	2	2	3	4	4	2	5	1	1	—	24	101,3 $\pm$ 1,49	10,8 $\pm$ 1,05
> 2,0	—	—	1	—	1	3	2	—	—	—	—	—	7	96,8 —	—
0,70 — 1,39	2	8	15	35	52	54	55	44	32	10	4	3	314	99,1 $\pm$ 0,39	10,3 $\pm$ 0,28
> 1,40	3	2	10	12	31	42	45	25	17	6	5	2	200	99,9 $\pm$ 0,48	10,1 $\pm$ 0,34
Total	5	10	25	47	83	96	100	69	49	16	9	5	514	99,9 $\pm$ 0,31	10,3 $\pm$ 0,22

en seront évidemment affectées. Aussi pourrait s'expliquer une légère augmentation du métabolisme de base constatée dans certains cas en fonction des gabarits (1). Inversement, la constance des moyennes, observée pour une échelle étendue des gabarits, peut être mise en doute si l'on pense qu'une équation biométrique peut sous-estimer l'importance de l'abaissement du métabolisme de base avec l'âge.

Pour nous rendre compte de l'ordre de grandeur des erreurs que nous avons pu ainsi commettre, nous avons repris l'étude que nous venons d'exposer en limitant l'âge des femmes examinées. Or, sur les femmes âgées de plus de 30 ans, nous n'avons trouvé aucun fait pouvant infirmer la conclusion à laquelle nous étions conduit par notre enquête concernant les femmes dont l'âge variait dans des limites plus larges. Aussi nous bornerons-nous à rapporter les résultats de nos calculs sans les commenter en détail.

Le tableau X montre les résultats trouvés sur le métabolisme de base comparé aux valeurs standard d'Harris et Benedict. On voit que la concordance entre les moyennes attachées à des groupes de femmes de gabarits très différents est encore plus frappante que ne le laisse supposer notre étude antérieure. Le tableau XI groupe des moyennes déterminées suivant les trois autres méthodes. On voit que les résultats qui y figurent sont sensiblement les mêmes que ceux que nous avons trouvés antérieurement. Toutefois, signalons que l'écart entre les valeurs extrêmes est moins prononcé lorsqu'on considère des femmes âgées de plus de 30 ans.

TABLEAU XI
Femmes âgées de plus de 30 ans.
Métabolisme de base (moyennes) en % des valeurs établies par :

Gabarit : poids taille — 105 cm.	Dreyer	Boothby et Sandiford (surface d'après Du-Bois).	Aub et Du-Bois (surface d'après Bouchard).
0,80-0,99	101,4	96,3	94,9
1,00-1,19	99,3	96,8	93,2
1,20-1,39	98,4	96,0	93,1
1,40-1,59	99,4	97,4	94,3
1,60-1,79	99,8	99,1	95,8
1,80-1,99	101,5	102,0	100,6

(1) Ceci semble être le cas des valeurs standard de Boothby et Sandiford, comme cela ressort du tableau XVII de la page 87.

ii) *Influence de l'indice d'obésité.* Une deuxième objection pourrait être formulée au sujet de l'indice d'obésité que nous avons choisi (voir p. 35). Cet indice utilisé, comme nous l'avons déjà signalé, dans le travail de Rathery et Plante-fol [102] présente, au même titre que tous les autres indices analogues, un défaut manifeste. En effet, ces divers indices ne tiennent pas compte de l'âge des sujets examinés. Or, il tombe sous le sens qu'une femme âgée, présentant un certain indice d'obésité, ne pourra être considérée comme « normale » ou « obèse » au même titre qu'une femme jeune de même indice de gabarit. On sait que, avec l'âge, les femmes (comme les hommes d'ailleurs), présentent normalement un certain engraissement. C'est là d'ailleurs un des faits sur lesquels s'appuie la théorie de Bohnenkamp.

On pourrait observer qu'en ce qui concerne le problème que nous nous sommes attaché à résoudre il importe peu si un certain degré d'obésité, présenté par le sujet examiné, est ou n'est pas « normal » en rapport avec son âge. Il suffirait de constater ou non des modifications du métabolisme de base en fonction de l'état d'obésité considéré en lui-même.

Les choses se compliquent lorsqu'on se rend compte du fait que les diverses valeurs standard utilisées varient avec l'âge. De sorte que, elles peuvent déjà tenir compte de l'abaissement du métabolisme de base conditionné éventuellement par l'engraissement des sujets qui avancent en âge. Il est vrai que cet engraissement se fait dans des limites beaucoup plus étroites que les limites envisagées dans ce travail.

Il s'agit donc ici de la même difficulté que celle que soulève la première objection. Elle se trouve atténuée du fait que, en considérant des groupes de femmes plus ou moins homogènes quant à leur âge, nous obtenons des résultats sensiblement similaires.

Toutefois, nous apportons sur le tableau XII un certain nombre de moyennes calculées pour une taille donnée en fonction du poids et pour un poids donné en fonction de la taille. Ainsi nous rendons les résultats de notre enquête indépendants de la validité de l'indice de gabarit utilisé. Or, ce tableau ne montre aucune variation systématique pouvant laisser suspecter une évolution du métabolisme de base avec l'engraissement.

Les valeurs relatives du métabolisme qui nous ont servi à dresser ce tableau ont été calculées par rapport aux valeurs standard d'Aub et Du-Bois ; la surface a été calculée d'après Bouchard. On voit que les moyennes ainsi déterminées sont toutes nettement au-dessous de 100 p. 100. Ceci confirme les récentes constatations de Benedict et celles de Boothby et Sandiford, qui ont montré que les valeurs moyennes du métabolisme de base données par Aub et Du-Bois sont trop élevées.

TABLEAU XII.

*Valeurs moyennes du métabolisme de base rapporté aux valeurs standard d'Aub et Du-Bois (surface calculée d'après Bouchard).
(Valeurs du métabolisme de base en %).*

Taille en cm.	Poids en kg.							Moyennes
	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99	100-109	
156-159	93 7	91 29	94 47	93 41	91 16	93 10	92 8	92 158
160-163	96 12	97 21	93 41	95 46	93 24	93 14	90 6	93 164
164-167	—	88 13	95 31	91 38	91 21	98 17	97 7	93 127
168-171	—	102 5	90 15	95 17	88 18	91 10	—	93 65
Moyennes	95,5 19	94,5 68	93,0 134	93,5 142	91 79	93,8 51	93,5 21	

Les chiffres imprimés en petits caractères indiquent le nombre de cas qui ont servi pour calculer la moyenne.

Cependant, comme nous l'avons déjà dit, nous avons pensé utile de reprendre la question sur une base nouvelle. Au lieu de considérer les valeurs *relatives* du métabolisme de base comparé à l'une ou à l'autre des tables de références, nous avons considéré ses valeurs absolues.

Nous avons au fond repris le même travail que celui de Harris et Benedict [56], mais sur une population de gabarit beaucoup plus hétérogène et environ 6 fois plus étendue. Nous avons effectué cette étude sur l'ensemble de la population et sur les deux groupes, considérés séparément. Nous croyons que ce travail n'a pas été inutile. En particulier, nous avons

pu ainsi examiner l'hypothèse de Harris et Benedict sur le terrain même sur lequel elle a pris corps.

**4^o Étude comparative des corrélations
entre le métabolisme de base et divers caractères biométriques
des sujets « obèses » et des sujets de corpulence « normale ».**

a) POSITION DU PROBLÈME ET NOTATIONS.

Le problème est en somme le suivant. Harris et Benedict ont trouvé, sur un groupe représentant une population de corpulence « normale », une valeur assez élevée du coefficient de corrélation entre le poids et le métabolisme de base (voir pp. 18 et 19). L'analyse statistique leur a permis, en s'appuyant sur cette corrélation, d'établir une équation de régression qui représente les échanges de base en fonction du poids. Cette équation permet de prévoir la grandeur du métabolisme de base la plus probable en sachant le poids d'un individu donné.

Cependant, à côté de l'utilité pratique de cette équation, il est naturel d'en considérer l'intérêt théorique. Si l'on ne peut pas en déduire qu'il existe une relation de cause à effet entre le poids et le métabolisme, il n'en reste pas moins vrai que cette équation montre la présence d'une liaison étroite entre ces deux variables. Cette liaison, qu'une multitude de circonstances fortuites masquent plus ou moins lorsqu'on considère les résultats individuels, et que, précisément, l'analyse statistique permet de mettre « à nu », peut traduire simplement l'existence d'un facteur commun, en relation à la fois avec le poids et les échanges de base.

Si l'on acceptait l'hypothèse de Harris et Benedict, ce facteur serait la « masse protoplasmique active ». Cette masse serait chez l'homme de corpulence moyenne à âge constant une fonction relativement fixe du poids corporel. Ces auteurs trouvent des arguments en faveur de leur hypothèse dans le fait qu'avec l'âge et, par conséquent, avec l'engraissement des sujets, amenant avec lui une diminution relative de la « masse protoplasmique active », le métabolisme de base considéré en fonction du poids corporel diminue lui-même.

Il semble résulter de cette hypothèse, qu'en considérant séparément les sujets de corpulence moyenne et ceux mani-

festement obèses, on ne devrait pas trouver de corrélation de force égale, dans les deux groupes ainsi définis, entre le métabolisme de base et le poids. Cette corrélation devrait se présenter d'une façon moins manifeste là où l'obésité a amené une forte perturbation dans la relation qui existe normalement entre la « masse protoplasmique active » et le poids du corps. A plus forte raison, les équations de régression que l'on tirerait de l'étude de ces corrélations devraient être différentes pour les deux groupes en question.

Le même raisonnement pourrait être fait en considérant non plus la « masse protoplasmique active », mais la « surface active », en tenant compte des résultats apportés par Bohuenkamp [22]. Nous rappelons que, d'après cet auteur, il convient de prendre en considération la température cutanée moyenne, qui baisse chez les sujets obèses, entraînant une diminution du métabolisme de base rapporté à l'unité de surface.

L'analyse des valeurs relatives du métabolisme de base des sujets de corpulence très variée, que nous venons de faire, nous a conduit à des conclusions différentes. L'étude des corrélations confirmera-t-elle, oui ou non, ces conclusions ?

Le plan de notre enquête se trouvait ainsi naturellement tracé : déterminer les coefficients de corrélation entre les différents facteurs biométriques et le métabolisme de base dans les deux groupes envisagés ; en tirer les équations de régression et comparer les unes aux autres ces différentes données. C'est ainsi que nous avons calculé :

1. Les coefficients de corrélations (r) entre le métabolisme et le poids dans le groupe des femmes « normales » (r_{mp}^n), dans celui des femmes « obèses » (r_{mp}^o) et pour toute la population (r_{mp}^t). Détermination des équations de régression correspondantes.

2. Les coefficients de corrélation entre le métabolisme de base et l'âge pour les trois groupes de sujets mentionnés : (r_{ma}^n , r_{ma}^o , et r_{ma}^t). Les coefficients de corrélation partielle entre le métabolisme de base et l'âge à poids constant (${}_p r_{ma}^n$, ${}_p r_{ma}^o$, et ${}_p r_{ma}^t$) et les coefficients de corrélation entre le métabolisme de base et le poids pour un âge déterminé (p. 73).

3. Le coefficient de corrélation entre le métabolisme et

la taille (r_{mt}^t). Le coefficient de corrélation partielle entre le métabolisme de base et la taille à poids constant (r_{pt}^t).

4. Les coefficients de corrélation entre le métabolisme de base et la surface (r_{ms}^n , r_{ms}^o et r_{ms}^t).

b) RÉSULTATS OBTENUS.

i) *Corrélation entre le métabolisme de base et le poids.*

Les trois coefficients de corrélation entre le métabolisme de base et le poids, que nous désignons suivant la notation ci-dessus indiquée, ont été trouvés de :

$$\text{Femmes « normales » : } r_{mp}^n = 0,57 \pm 0,02 \quad [23]$$

$$\text{— « obèses » : } r_{mp}^o = 0,58 \pm 0,04 \quad [24]$$

$$\text{Toute la population : } r_{mp}^t = 0,64 \pm 0,02 \quad [25]$$

On voit par conséquent que, contrairement à ce que le raisonnement que nous avons fait plus haut laissait à prévoir et en accord avec nos résultats antérieurs, les coefficients de corrélation sont sensiblement identiques, que l'on considère le groupe des « normales » ou celui des « obèses » (1).

(1) Le coefficient de corrélation trouvé sur toute la population est légèrement supérieur aux deux autres. Ceci n'a aucune signification physiologique. En effet, le σ de la distribution des valeurs du métabolisme de base dans toute la population est forcément plus élevé que celui de chacun des groupes partiels, étant donné que la dispersion des valeurs du poids y est également plus large. Dire que l'on constate un certain coefficient de corrélation entre le métabolisme de base et le poids, c'est dire que l'on peut réduire de $(r_{mp})^2$ la variance de la distribution primitive des valeurs du métabolisme trouvées sur la population totale. Ceci du fait que l'on considère des individus dont le poids est compris entre certaines limites étroites. Or, si cette variance réduite est à peu près constante, le pourcentage de réduction de la variance primitive sera d'autant plus élevé que la dispersion initiale sera, elle-même, plus large. Mais nous savons qu'à mesure que s'élève le pourcentage de réduction de la variance primitive, le coefficient de corrélation augmente également. C'est ainsi que s'explique par des raisons purement statistiques la valeur relativement élevée du coefficient de corrélation trouvé entre le métabolisme de base et le poids sur la population totale.

Inversement, l'égalité des coefficients de corrélation se rattachant aux deux groupes partiels ne peut pas, dans le cas que nous considérons, tenir à des raisons semblables. En effet, les σ des distributions des valeurs du métabolisme de base sont dans les deux groupes :

$$\sigma^n = 8,15 \pm 0,18 \quad [26]$$

$$\sigma^o = 7,93 \pm 0,29 \quad [27]$$

Par conséquent, si une légère différence entre les σ des distributions se faisait ici sentir, ce serait au bénéfice du coefficient de corrélation trouvé sur le groupe des « normales ».

Nous avons calculé également les équations de régression ; soit pour le groupe des « normales » :

$$M = 0,407 P + 31,9 \quad [28]$$

et pour celui des « obèses » :

$$M = 0,416 P + 30,6 \quad [29]$$

où M est le métabolisme de base en Cal. par heure et P, le poids en kg.

Ce sont là des équations quasi similaires. Le tableau XIII montre que les valeurs du métabolisme calculées en s'appuyant sur ces équations sont pratiquement les mêmes dans une région de l'échelle des poids où l'on peut les confronter utilement (région moyenne). C'est dans cette région moyenne que l'on trouve les poids des sujets appartenant aux deux groupes envisagés. Nous avons figuré sur le même tableau les valeurs du métabolisme de base calculées d'après l'équation de régression de Harris et Benedict [56]. On voit que ces valeurs suivent de très près les nôtres et, qu'en particulier, elles s'accordent bien avec les moyennes que présentent les sujets « obèses ».

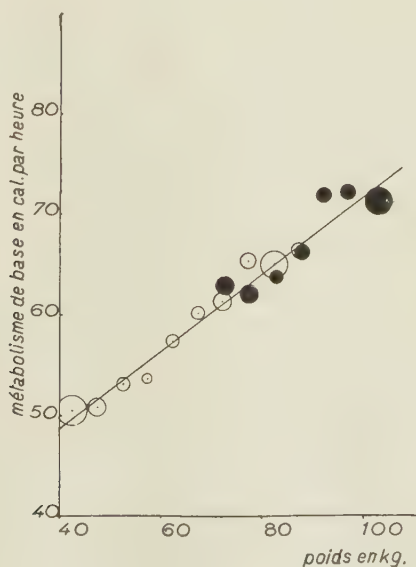


FIG. 17. — Les cercles blancs représentent les valeurs moyennes du métabolisme de base des femmes « normales » ; les cercles noirs celles des femmes « obèses ». Voir l'explication dans le texte.

La figure 17 montre les moyennes des valeurs du métabolisme de base, calculées pour le groupe des « normales » et pour celui des « obèses » en fonction du poids. Ces valeurs sont représentées par les cercles dont les rayons sont proportionnels à leurs erreurs probables. Les cercles blancs correspondent aux femmes « normales » et les cercles noirs aux femmes « obèses ». Sur la même figure nous avons représenté la droite de régression, dont les coefficients ont été calculés en considérant l'ensemble de tous les sujets. Voici l'équation de cette droite :

$$M = 0,38 P + 33,7 \quad [30]$$

On voit que toutes les valeurs se groupent autour de cette droite et qu'en tout cas, celles correspondant aux sujets « obèses » ne se trouvent pas systématiquement au-dessous d'elle. Ces résultats sont d'autant plus significatifs que le groupe des « obèses » contient relativement moins de femmes jeunes que le groupe des « normales ».

TABLEAU XIII.

Métabolisme de base en Calories par heure, calculé d'après les équations de régression tirées de l'étude portant sur :

Poids en kg.	Le groupe de Harris et Benedict.	Le groupe des « normales ».	Le groupe des « obèses ».
40	50,6	48,2	
45	52,3	50,2	
50	54,1	52,3	
55	55,8	54,3	
60	57,5	56,3	
65	59,2	58,4	57,6
70	60,9	60,4	59,7
75	62,6	62,4	61,8
80	64,4	64,5	63,9
85	66,1	66,5	66,0
90	67,8		68,0
95	69,5		70,1
100	71,2		72,2
105	72,9		74,3

Nous pouvons conclure, par conséquent, que :

1^o S'il existe une relation linéaire, liant le métabolisme de base au poids, elle est la même pour les femmes de corpulence normale que pour les femmes obèses. Autrement dit, lorsque l'on considère des femmes de poids de plus en plus élevé, *on constate, en moyenne, la même augmentation du métabolisme de base, par unité de poids accru, quelle que soit la part qui revient aux tissus actifs ou à la graisse dans la masse qui constitue cette unité.*

2^o *A poids égal, les femmes présentent le même métabolisme de base, quel que soit l'état de leur adiposité.*

ii) *Corrélation entre le métabolisme de base et l'âge.*

Le calcul des coefficients de corrélation entre le métabolisme de base et l'âge montre les valeurs suivantes :

$$r_{ma}^n = - 0,026 \pm 0,032 \quad [31]$$

$$r_{ma}^o = - 0,187 \pm 0,050 \quad [32]$$

$$r_{ma}^l = - 0,052 \pm 0,026 \quad [33]$$

On voit que ces coefficients sont extrêmement faibles, moins élevés que ceux que Harris et Benedict ont mis en évidence dans leur monographie [56] ($0,2034 \pm 0,0637$). Comparés à leurs erreurs probables, ils peuvent être tenus pour nuls. Cependant, deux facteurs doivent être pris en considération avant que l'on puisse fournir une explication de ce fait d'apparence surprenante. L'un de ces facteurs est d'ordre général, l'autre se rapporte surtout aux conditions particulières de notre enquête.

1. L'on sait que le coefficient de corrélation (r) que nous avons utilisé ne traduit pleinement la force de liaison existant entre deux variables qu'en tant que cette liaison puisse être représentée sous forme d'une fonction linéaire. La figure 17 montre que, en ce qui concerne le métabolisme de base et le poids, une telle forme de relation peut être acceptée. Harris et Benedict l'ont admise et, tout récemment, Brody et

Proster [30] l'ont confirmée pour les adultes. Or, nous ne disposons pas d'observations aussi unanimes en ce qui concerne la fonction qui relie le métabolisme à l'âge. Les équations de Dreyer montrent au contraire que chez les femmes jeunes le métabolisme décroît avec l'âge bien plus rapidement que chez les femmes plus âgées. Ainsi la valeur du coefficient de corrélation peut sous-estimer notablement la force réelle de liaison de ces deux variables.

2. Dans les populations à échelle des gabarits très étendue, et c'est le cas de la nôtre, deux phénomènes se trouvent en opposition. D'une part, le métabolisme décroît avec l'âge, à poids constant. De l'autre, le métabolisme croît avec le poids et, par conséquent (les femmes jeunes présentant en général un poids inférieur à celui des femmes plus âgées), avec l'âge. Ces deux effets contraires, que l'âge exerce sur le métabolisme de base, s'opposent l'un à l'autre jusqu'à s'annuler mutuellement. La meilleure preuve qu'il en est réellement ainsi est fournie par l'étude de la corrélation partielle entre le métabolisme de base et l'âge à poids constant. Voici les valeurs trouvées :

$${}_p r_{ma}^n = - 0,165 \pm 0,031 \quad [34]$$

$${}_p r_{ma}^o = - 0,260 \pm 0,048 \quad [35]$$

$${}_p r_{am}^t = - 0,181 \pm 0,025 \quad [36]$$

Ainsi ces valeurs sont plus significatives que celles que nous avons trouvées antérieurement. Toutes sont négatives, conformément à ce qu'on pouvait prévoir.

Cependant elles restent encore faibles. Elles indiquent une réduction de la variance de la distribution primitive des valeurs du métabolisme de base, déterminée en fixant l'âge, après avoir fixé le poids, de quelque 3 p. 100. Or la réduction que nous avons calculée d'après les constatations de Harris et Benedict est de 16 p. 100. Nous guidant par les considérations exposées à l'alinéa 1 ci-dessus, nous avons repris le même problème sous un aspect différent. Nous avons considéré séparément les femmes âgées de 20-29, de 30-39, de 40-49 et de 50-59 ans. Dans chacun de ces groupes à âge *relativement fixe* nous avons déterminé le coefficient de corré-

lation entre le métabolisme et le poids. Ces coefficients seraient en quelque sorte analogues aux coefficients de corrélation partielle entre le métabolisme de base et le poids à âge fixe. Nous les désignerons par la lettre ρ . Nous avons obtenu les chiffres suivants :

Age	20-29	$\rho_{mp} = 0,70 \pm 0,040$	[37]
	30-39	$\rho_{mp} = 0,70 \pm 0,034$	[38]
	40-49	$\rho_{mp} = 0,66 \pm 0,038$	[39]
	50-59	$\rho_{mp} = 0,64 \pm 0,049$	[40]

Rappelons que le coefficient de corrélation trouvé sur la population totale était de :

$$r_{mp} = 0,64 \pm 0,016 \quad [41]$$

Si bien que, en considérant en plus du poids l'âge des sujets examinés, la force de corrélation s'accroît assez sensiblement, surtout lorsqu'il s'agit de femmes jeunes. Dans les conditions de notre enquête, le calcul montre que, dans le cas de femmes jeunes, le gain réalisé en considérant leur âge se traduit par une réduction supplémentaire de la variance primitive de 8 p. 100, au lieu de 3 trouvés antérieurement. Cela correspond à un coefficient de corrélation partielle à poids constant de 0,37. C'est un coefficient qui s'approche davantage de celui observé par Harris et Benedict [56] ($0,5016 \pm 0,0497$).

Nous avons calculé également les équations de régression pour les quatre groupes de femmes à âge fixe, soit :

Age	20-29	$M = 0,462 P + 29,5$	[42]
	30-39	$M = 0,407 P + 31,9$	[43]
	40-49	$M = 0,400 P + 31,6$	[44]
	50-59	$M = 0,370 P + 32,7$	[45]

La figure 18 montre graphiquement ces différentes équations. On voit que, alors que nous n'avons pas pu mettre en évidence des différences du métabolisme de base en fonction de l'état d'obésité des sujets examinés, nous pouvons les faire ressortir en fonction de leur âge. Nous reviendrons encore sur ce point.

On voit également qu'il n'y a pas de relation linéaire entre le métabolisme de base et l'âge à poids constant.

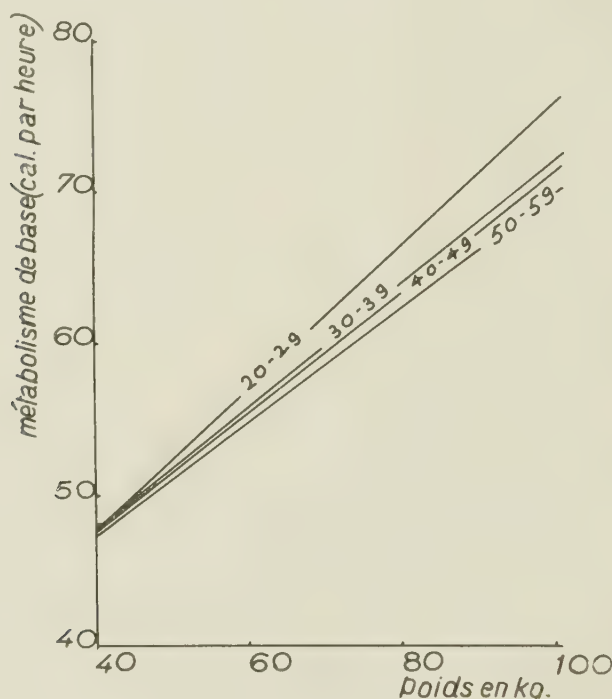


FIG. 18. — Chacune de ces droites a été déterminée d'après les équations de régression tirées respectivement des groupes de femmes âgées de 20 à 29 ans, de 30 à 39 ans, de 40 à 49 ans, et de 50 à 59 ans.

iii) *Corrélation entre le métabolisme de base et la taille.*

La corrélation entre le métabolisme de base et la taille est exprimée pour la population totale par un coefficient que voici :

$$r_{mt}^t = 0,263 \pm 0,024 \quad [46]$$

Mais c'est certainement l'étude de la corrélation partielle entre le métabolisme de base et la taille à poids constant qui présente un intérêt, pour ainsi dire, « crucial » pour notre enquête.

Harris et Benedict ont trouvé que ce coefficient était voisin du zéro, du moins en ce qui concerne le métabolisme des femmes. En effet, il est égal à $0,0445 \pm 0,0663$. Non seulement il présente une valeur extrêmement petite, mais il est encore plus petit que son erreur probable. Malgré cela, Harris et Benedict ont cru pouvoir introduire la taille dans leur équation de prévision. Sans doute se sont-ils appuyés sur ce fait que chez l'homme la valeur de ce coefficient est plus élevée. Ils ont même tiré de la présence de cette corrélation plus élevée chez l'homme des arguments qui permettent d'entrevoir d'après eux la solution du problème du métabolisme de base chez les obèses. Nous avons discuté plus haut leurs arguments et nous avons pu donner la vraie valeur de cette corrélation (p. 27). Signalons cependant qu'il est curieux de constater chez les femmes, que l'on sait être particulièrement enclines à l'obésité, une valeur particulièrement basse de la corrélation qui exprimerait le mieux des perturbations du métabolisme de base chez les obèses. Une telle constatation pourrait s'expliquer par le caractère spécial de la population sur laquelle Harris et Benedict ont fait leur étude. En effet, on pourrait imaginer facilement que pour un groupe de sujets dont la corpulence reste entre les limites de la « normalité » respectée par les auteurs cités, la dispersion des tailles, à poids constant, soit particulièrement serrée ; de sorte que l'on ne puisse pas y trouver de corrélation élevée entre la taille et le métabolisme. Mais c'est précisément pour la raison inverse que la population que nous avons étudiée est particulièrement favorable à la recherche d'une telle corrélation. En effet, l'échelle des gabarits est ici extrêmement étendue et la dispersion des valeurs de la taille pour chaque valeur du poids est très large. Malgré cela, nous avons trouvé un coefficient qui ne peut même pas être tenu pour significatif, soit,

$$r_{mt} = 0,10 \pm 0,026 \quad [47]$$

C'est là un coefficient qui permet de conclure que, le poids étant fixé, la connaissance de la taille ne nous apporte aucun bénéfice dans la précision du métabolisme de base.

D'ailleurs, ce coefficient est de même ordre de grandeur que celui que nous avons trouvé antérieurement entre, d'une part, le métabolisme traduit en valeurs relatives

et, d'autre part, l'indice de gabarit. Ces deux coefficients témoignent, par conséquent, du fait que seule la valeur *brute* du poids importe dans la prévision du métabolisme de base.

iv) *Corrélation entre le métabolisme de base et la surface.*

Voici les coefficients de corrélation trouvés entre le métabolisme de base et la surface calculée d'après Bouchard :

$$r_{ms}^n = 0,60 \pm 0,021 \quad [48]$$

$$r_{ms}^o = 0,60 \pm 0,033 \quad [49]$$

$$r_{ms}^t = 0,69 \pm 0,014 \quad [50]$$

On voit, par conséquent, que ces coefficients sont similaires à ceux que nous avons trouvés en étudiant le métabolisme de base en fonction du poids. Notamment, on trouve la même force de liaison entre le métabolisme de base et la surface, qu'il s'agisse des femmes « normales » ou « obèses ».

Et voici maintenant les équations de régression :

$$\text{Femmes « normales » : } M = 0,291 S + 8,5 \quad [51]$$

$$\text{— « obèses » : } M = 0,353 S + 2,0 \quad [52]$$

$$\text{Toute la population : } M = 0,326 S + 2,6 \quad [53]$$

Le tableau suivant montre les valeurs calculées d'après ces équations :

TABLEAU XIV.

Valeurs du métabolisme de base par heure,
calculées en Calories pour :

Surface	les « normales »	les « obèses »
140	49,2	
150	52,2	
160	55,1	54,5
170	58,0	58,0
180	60,9	61,5
190		65,0
200		68,6
210		72,1

On voit que, dans la région moyenne de l'échelle des surfaces, ces valeurs sont pratiquement les mêmes pour les deux groupes en question.

Il est curieux de noter que les constantes additives de ces équations sont peu élevées. Elles sont particulièrement basses pour le groupe des « obèses » et pour la totalité de la population. La valeur relativement élevée de cette constante, que nous avons trouvée pour le groupe des « normales », peut se rattacher à la présence dans ce groupe d'un nombre plus grand de femmes jeunes, dont le poids est comparativement faible et, par conséquent, la surface est relativement peu étendue. Or, dans cette région de l'échelle des surfaces, la présence des femmes jeunes à métabolisme élevé se traduit par une valeur plus grande de la constante additive et une valeur plus basse du coefficient angulaire.

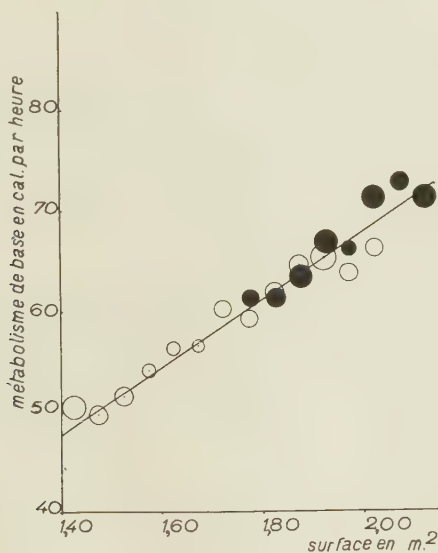


FIG. 19. — Les cercles blancs représentent les valeurs moyennes du métabolisme de base des femmes « normales » ; les cercles noirs celles des femmes « obèses ». Voir l'explication dans le texte.

Les valeurs peu élevées des constantes additives suggèrent que le métabolisme de base peut être représenté, avec une bonne approximation, comme étant *proportionnel* à la surface. En effet, si l'on divise les valeurs du métabolisme cal-

culé, figurant sur le tableau XIV, par celles de la surface qui leur correspondent, on obtient le tableau suivant :

TABLEAU XV.

Métabolisme de base calculé en Calories par
unité de surface pour :

Surface	les « normales »	les « obèses ».
140	35,1	
150	34,8	
160	34,4	34,0
170	34,1	34,1
180	33,8	34,2
190		34,2
200		34,3
210		34,3
		34,3

Ainsi le métabolisme de base rapporté à la surface est sensiblement le même chez les sujets « obèses » que chez les femmes de corpulence « normale ». La figure 19 montre que les moyennes partielles du métabolisme de base se groupent bien autour d'une droite, dont l'équation est :

$$M = 34,1 S \quad [54]$$

En particulier, les valeurs correspondant aux femmes « obèses », représentées sur cette figure par les cercles noirs, ne se trouvent pas systématiquement au-dessous de cette droite.

CHAPITRE III

DISCUSSION GÉNÉRALE

1. Remarques préliminaires.

Ainsi le métabolisme de base est corrélativement lié au poids chez les femmes « normales » comme chez les femmes « obèses » par la même relation fondamentale, dont l'analyse statistique permet d'entrevoir l'expression mathématique. Il en est de même lorsqu'on envisage le métabolisme de base en fonction de la surface. Nous allons voir par la suite comment il est possible d'expliquer ces faits à la lumière des connaissances que nous possédons sur la thermogénèse et la thermolyse de l'homme. Auparavant, nous nous permettrons d'insister sur quelques points d'importance secondaire pour faciliter la discussion ultérieure.

2. Discussion des équations de la surface et de leur précision.

a) LINÉARITÉ DES ÉQUATIONS DE RÉGRESSION.

Divers auteurs ont cherché à définir le métabolisme de base en fonction du poids, chez les adultes, par une équation linéaire. Harris et Benedict [56] en ont fait usage et nous également. Brody et Proster [30], qui ont proposé récemment une équation exponentielle pour exprimer la même fonction

pour les âges très variés, reconnaissent explicitement que, dans la région de l'échelle des poids concernant les adultes, cette courbe se rapproche de la droite. D'autre part, nous avons représenté le métabolisme de base, en fonction de la surface, également par une équation linéaire, et tous les auteurs en ont fait autant avant nous. Or, dire que les équations qui traduisent le métabolisme de base en fonction, soit du poids, soit de la surface, sont toutes les deux linéaires, c'est dire qu'il existe une relation de même nature entre la surface et le poids. Cependant la surface augmente avec le carré des dimensions linéaires, lesquelles dimensions croissent elles-mêmes proportionnellement à la racine cubique du volume, ou, en première approximation, du poids. Les règles de l'homogénéité ne sont donc pas respectées. Voyons le problème de plus près.

C'est Meeh [95] qui semble avoir été le premier à formuler chez l'homme une équation de la surface en fonction du poids. Conformément à ce que nous venons de dire, il l'a représentée comme proportionnelle au poids élevé à la puissance deux tiers, soit :

$$S = 12,3 P^{2/3} \quad [55]$$

Traçons la courbe représentant ainsi la surface (S) en fonction du poids (P) et, de part et d'autre de cette courbe, traçons deux autres courbes « satellites », qui passent chacune par les points s'écartant de la courbe principale de plus ou moins 1 p. 100. La figure 20 (1) montre que dans l'intervalle ainsi limité par deux courbes « satellites » on peut faire passer une droite, dont une extrémité s'appuie sur l'ordonnée correspondant à 50 kg. et l'autre à celle correspondant à 80 kg. C'est dire que l'on peut représenter la surface en fonction du poids, chez les femmes adultes de poids très différents, par une droite, avec une approximation supérieure à 1 p. 100. C'est là une précision qui est difficilement atteinte dans les déterminations du métabolisme de base, même lorsqu'il s'agit des moyennes tirées, chacune, de plusieurs dizaines de déterminations. Il suffit, pour s'en convaincre, de jeter un coup d'œil sur les graphiques 17

(1) La courbe « principale » n'est pas représentée sur la figure 20. Par convention elle passe à égale distance entre deux courbes satellites.

et 19, qui s'appuient pourtant sur une documentation assez étendue.

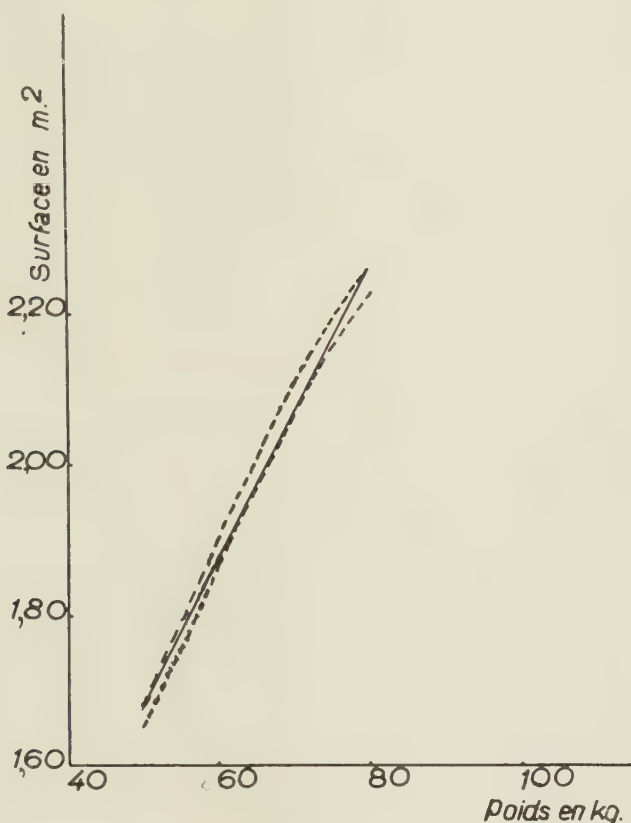


FIG. 20. — Voir les explications dans le texte.

On voit, par conséquent, que même si le métabolisme de base était proportionnel à la surface, on pourrait le représenter en fonction du poids par une équation linéaire avec une bonne approximation. De sorte que la contradiction qui vient d'être signalée, concernant l'absence de l'homogénéité des équations discutées, tient simplement aux difficultés d'atteindre une précision suffisante pour déterminer avec certitude la forme des courbes représentant le métabolisme de base ou la surface en fonction de la masse corporelle ; la portion de l'échelle des poids, correspondant aux adultes, est trop petite pour le permettre. C'est là une constatation que l'on doit

avoir présente à l'esprit en discutant diverses théories proposées (1).

(1) Une comparaison des coefficients de corrélation (r) aux rapports de corrélation (τ) peut permettre de conclure dans quelle mesure les relations mathématiques qu'ils font entrevoir sont susceptibles d'être représentées sous forme linéaire. Cependant, l'existence d'une courbure peut être prévue *a priori* pour la relation exprimant le métabolisme de base en fonction du poids ou pour celle en fonction de la surface. En effet, une légère courbure doit résulter de l'effet de l'âge, dont la répartition n'est pas la même pour les diverses valeurs du poids et de la surface. Or, nous avons montré qu'il n'est pas probable que la relation entre le métabolisme de base et l'âge soit de forme linéaire.

Néanmoins, nous avons calculé les rapports de corrélation (τ) entre le poids et le métabolisme de base et entre ce dernier et la surface. Nous les donnons en conservant les notations analogues à celles utilisées plus haut. Soit :

$$\text{groupe des normales : } \tau_{mp}^n = 0,57 \pm 0,02 \quad (r_{mp}^n = 0,57 \pm 0,02) \quad [56]$$

$$\text{groupe des obèses : } \tau_{mp}^o = 0,66 \pm 0,02 \quad (r_{mp}^o = 0,58 \pm 0,03) \quad [57]$$

$$\text{population totale : } \tau_{mp}^t = 0,70 \pm 0,01 \quad (r_{mp}^t = 0,64 \pm 0,01) \quad [58]$$

$$\text{groupe des normales : } \tau_{ms}^n = 0,65 \pm 0,02 \quad (r_{ms}^n = 0,60 \pm 0,02) \quad [59]$$

$$\text{groupe des obèses : } \tau_{ms}^o = 0,61 \pm 0,03 \quad (r_{ms}^o = 0,60 \pm 0,03) \quad [60]$$

$$\text{population totale : } \tau_{ms}^t = 0,75 \pm 0,01 \quad (r_{ms}^t = 0,69 \pm 0,01) \quad [61]$$

Le calcul approprié montre que certains rapports et coefficients de corrélation comparés à leurs erreurs probables peuvent être considérés comme identiques, alors que les autres montrent une différence faisant suspecter une légère courbure.

Aussi avons-nous calculé les exposants les plus probables du poids lorsqu'on représente le métabolisme de base (M) des femmes examinées dans ce travail en fonction de la masse corporelle (P). Nous avons fait le calcul par la méthode des moindres carrés sur les valeurs pondérées de nos moyennes et nous avons trouvé l'équation suivante :

$$M = 232,8 P^{0,44} \quad [62]$$

Si l'on considère séparément le groupe des « normales » et celui des « obèses », on constate respectivement :

$$M = 202,4 P^{0,46} \quad [63]$$

$$M = 159,6 P^{0,52} \quad [64]$$

Enfin, si l'on envisage des groupes à âge « relativement constant », on trouve respectivement, pour les femmes âgées de 20-29 et de 40-49 ans :

$$M = 166,8 P^{0,51} \quad [65]$$

$$M = 120,0 P^{0,58} \quad [66]$$

Il est difficile d'attacher plus de poids à ces équations qu'aux formules linéaires rapportées plus haut. En effet, les équations de régression n'ont pas d'autre ambition que celle de traduire par une expression mathématique aussi correcte que possible les faits tels qu'ils sont observés sur une étendue limitée de l'échelle des abscisses. Par contre, une équation de la forme de celles ci-dessus établies peut vouloir dire qu'il s'agit d'une relation susceptible d'être extrapolée. Or, il ne peut pas en être question dans le cas particulier, étant donné que l'échelle des poids explorés commence assez loin de son point d'origine.

Mais, lorsqu'on considère ces équations comme de simples formules d'interpolation, on voit qu'elles restent de même forme quel que soit l'indice de gabarit des sujets examinés. Partout le métabolisme de base est proportionnel à la racine carrée environ du poids. Rappelons que c'est la même relation que celle que Dreyer [41] a tirée de l'étude de la population « normale » de Harris et Benedict.

b) RAPPORT ENTRE L'ÉQUATION DES DU-BOIS ET CELLES DE BOUCHARD. SIGNIFICATION DE L'ÉQUATION DE DREYER.

Nous voudrions ici attirer l'attention sur un autre aspect du problème. L'équation de Meeh a été reconnue fausse. Bouchard [28] l'a démontré et les Du-Bois [42-43] en ont fait justice au cours d'une série de recherches bien connues. Ces derniers auteurs en ont proposé une autre, ou plutôt deux autres. Celle qui est entrée dans la pratique journalière, c'est celle que nous avons utilisée et rapportée antérieurement (p. 41).

L'équation des Du-Bois tient compte du poids et de la taille. Pour une taille donnée, la surface croîtrait proportionnellement au poids élevé à la puissance 0,425 ; pour un poids donné, elle augmenterait proportionnellement à la taille élevée à la puissance 0,725. Cependant — nous l'avons déjà signalé — cette formule semble mal s'appliquer aux sujets obèses.

L'équation de Bouchard, étudiée sur une population comprenant un assez grand nombre d'obèses, montre pour ces sujets des valeurs systématiquement plus élevées que celles calculées d'après Du-Bois. L'équation de Bouchard tient compte, en plus du poids, de la taille et du tour de taille. Notamment, pour un poids et une taille donnés, la surface est d'autant plus grande que le tour de taille est plus long ou, ce qui revient au même, que l'état d'obésité est plus prononcé (1). Aussi a-t-on pensé que, pour évaluer la surface de l'homme, il faut ajouter un troisième facteur (tour de taille) à ceux (poids et taille) qui ont été successivement envisagés par Meeh et Du-Bois. Or, un raisonnement simple permet de faire une constatation curieuse.

Nous avons vu que, pour un poids donné, la surface décroît, d'après l'équation de Du-Bois, avec la diminution de la taille. Or, plus la taille sera petite, pour un poids donné, plus l'indice d'obésité sera élevé et, par conséquent, plus l'écart entre la surface calculée d'après Bouchard et celle sous-estimée par l'équation de Du-Bois sera important. Autrement dit, la diminution de la surface qui se produirait d'après Du-Bois avec

(1) Ceci en dehors des cas de l'extrême maigreur où l'équation de Bouchard prévoit également une augmentation de la surface, quoique le tour de taille diminue.

la diminution de la taille, serait contre-balancée en partie, d'après Bouchard, par l'augmentation du rapport poids sur taille, concomitante, dans l'immense majorité des cas, avec un certain état d'adiposité et par suite avec une augmentation du tour de taille.

TABLEAU XVI.

Poids	Moyenne des valeurs de la surface calculée d'après les équations de Bouchard
40-44	138,9
45-49	147,0
50-54	155,4
55-59	160,5
60-64	167,3
65-69	174,2
70-74	180,5
75-79	185,6
80-84	192,6
85-89	199,2
90-94	203,9
95-99	207,0

Si bien que, à cause de ces effets contraires que la taille exerce sur la surface, le rôle joué par elle dans la détermination de cette dernière est, en pratique, moins important qu'on ne l'a supposé jusqu'à présent. En fait, la documentation que nous avons utilisée, concernant des gabarits très variés, nous montre que l'on peut atteindre une approximation pratiquement satisfaisante pour déterminer la surface d'une femme en accord avec les observations de Bouchard si, au lieu d'ajouter une troisième variable (tour de taille) à ceux qu'utilise la formule de Du-Bois (poids et taille), on en supprime au contraire une (taille).

La figure 21 montre que les points, représentant, chacun, la surface calculée d'après Bouchard, se dispersent autour d'une courbe moyenne et logent en quasi-totalité entre deux courbes « satellites » s'écartant de la courbe principale de ± 5 p. 100. C'est là une précision satisfaisante, surtout dans les cas individuels, où les erreurs d'appréciation sont en fait assez élevées. L'équation de la courbe moyenne,

autour de laquelle se dispersent les valeurs individuelles de la surface, peut être facilement calculée. Le tableau XVI réunit les moyennes des valeurs de la surface, constatées sur nos sujets et calculées d'après l'équation de Bouchard. Nous en avons tiré une formule par la méthode des moindres carrés, soit :

$$S = 0,212 \sqrt{P} \quad [67]$$

(La surface exprimée en mètres carrés et le poids en kg.)

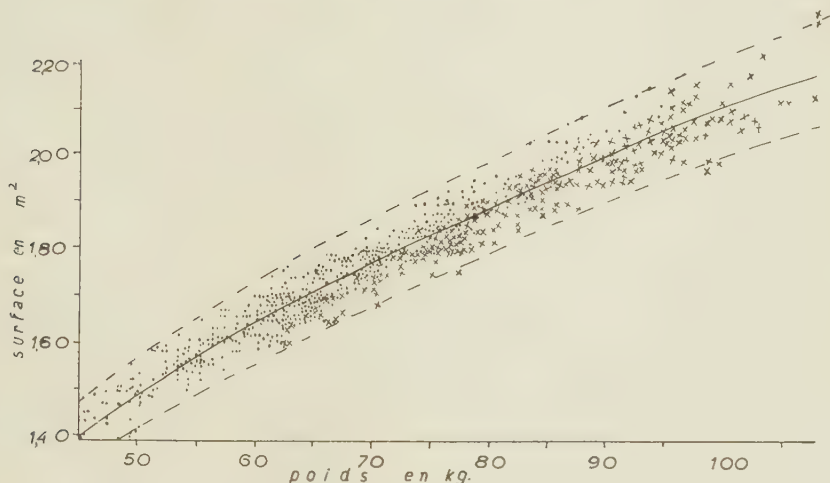


FIG. 21. — Cette figure représente les valeurs de la surface calculées d'après l'équation de Bouchard, exprimées en fonction du poids. Les points se rapportent aux femmes « normales » ; les croix aux femmes « obèses ». Voir l'explication dans le texte.

Cette équation montre que la surface (S), calculée d'après Bouchard, croît en moyenne proportionnellement à la racine carrée du poids (P) et non au poids élevé à la puissance deux tiers. C'est là une deuxième constatation curieuse. Et en voici une troisième : l'équation de Dreyer, qui a montré sur notre population un très bon accord entre le métabolisme de base observé et calculé, n'est autre, à la lumière de notre équation, qu'une expression du métabolisme de base en fonction de la surface calculée d'après Bouchard. En effet, l'équation de Dreyer [41] se présente sous forme suivante :

$$M = \frac{\sqrt{P}}{0,1127 A^{0,1333}} \quad [68]$$

Elle a été proposée par cet auteur afin d'exprimer le métabolisme de base (M) en fonction du poids (P), lequel devrait, d'après lui, être calculé pour les sujets « anormaux » en partant des valeurs de la hauteur du tronc et du périmètre thoracique. En fait, non seulement elle s'applique aux obèses, en tenant compte de leur poids réel, aussi bien, sinon mieux que les autres formules, mais elle n'exprime en dernière analyse qu'une relation entre le métabolisme de base et la surface, cette dernière étant calculée par une équation qui semble la traduire le plus fidèlement chez de tels sujets (1).

Rappelons que ce sont des équations de la même forme que nous avons tirées de la population sur laquelle a été faite notre enquête statistique (2). On pourrait appeler cet ensemble de constatations faites sur les femmes adultes, « loi de la racine carrée ».

Dans le tableau XVII, nous donnons :

1. Les valeurs standard du métabolisme de base, obtenues en divisant les valeurs tirées de l'équation de Dreyer par la surface calculée d'après notre formule [67, p. 85].

2. Les valeurs standard données par Boothby et Sandiford [27].

On voit que ces dernières valeurs sont en général plus élevées que les valeurs tirées de l'équation de Dreyer. C'est pourtant cette dernière qui s'applique le mieux aux résultats que nous avons constatés chez des femmes de gabarits extrêmement variés.

(1) Il ressort de la citation ci-dessous que telle n'était pas la pensée de Dreyer : « Le métabolisme de base (C) est une fonction du poids (P) et de l'âge (A) pouvant être exprimée par une formule

$$\frac{P^n}{C \cdot A^{n,13}} = k \quad [69]$$

où la puissance n est approximativement de 0,5 et k est une constante. Cette formule indique que le métabolisme de base *n'est pas* une simple fonction de la surface » (souligné par Dreyer [41]).

(2) Voir note de la page 82.

TABLEAU XVII.

Femmes âgées de	Valeurs standard du métabolisme de base par heure et par mètre carré, tirées de l'équation de Dreyer (surface calculée d'après notre formule)	Valeurs standard du métabolisme de base par heure et par mètre carré, données par Boothby et Sandiford
	En Calories	En Calories
19 ans	37,2	37,3
22 — et demi	36,4	36,9
27 — —	35,5	36,6
32 — —	34,7	36,2
37 — —	34,0	35,8
42 — —	33,5	35,3
47 — —	33,0	35,0
52 — —	32,5	34,5
57 — —	32,1	34,0
62 — —	31,8	33,8

3. Discussion de la théorie de Bohnenkamp.

a) RAPPEL DE LA THÉORIE.

A l'origine de la théorie de Bohnenkamp [22] se trouve le raisonnement suivant. Plaçons les sujets de gabarits différents, debout, dans une position bien déterminée, complètement nus, à une température fixe du milieu ambiant. Cette température (25°) est choisie dans la « zone de confort ». Dans ces conditions bien définies, la température cutanée moyenne est plus basse chez les sujets obèses que chez les normaux, en raison de la présence chez eux d'un pannicule adipeux épais.

Comme la déperdition calorifique par unité de surface, due au rayonnement diminue pour une température constante du milieu, avec l'abaissement de la température cutanée moyenne, la grandeur du rayonnement est moins élevée par unité de surface chez les sujets obèses que chez les sujets normaux.

Soit, en effet, R la déperdition calorifique par rayonnement à 25° (le sujet étant placé dans les conditions définies

par Bohnenkamp) ; S la surface rayonnante « active ». On peut écrire alors :

$$R = kS \quad [70]$$

Dans cette équation, k peut être exprimé comme suit (d'après la loi de Stefan-Boltzmann) :

$$k = \sigma (T_c^4 - T_{amb}^4) 86.400 \quad [71]$$

où T_c = température cutanée moyenne et T_{amb} = température du milieu ambiant (températures « absolues ») ; k = coefficient de proportionnalité ; σ = constante universelle de Stefan-Boltzmann ; 86.400, nombre de secondes par 24 heures.

Étant donné qu'à une température fixe du milieu ambiant la température cutanée moyenne diminue avec l'augmentation du pannicule adipeux, l'équation 71 montre que k est plus petit chez les sujets obèses que chez les sujets normaux.

D'autre part, Buttner [32] a montré que la déperdition calorique par conduction et par convection (C) peut être représentée en fonction de la surface (S) par une équation semblable. Soit,

$$C = k'S, \quad [72]$$

où :

$$k' = k'' (T_{cut} - T_{amb}) 86.400. \quad [73]$$

A une température fixe du milieu ambiant, k' est par conséquent également plus petit chez les obèses que chez les normaux.

Bohnenkamp admet par ailleurs que la part prise dans la déperdition calorique totale par évaporation d'eau peut être exprimée en fonction du métabolisme total, à une température fixe du milieu ambiant, par une équation linéaire identique chez tous les sujets, quel que soit le degré de leur adiposité. Bohnenkamp a tiré cette équation des recherches de Benedict et Root [17]. Elle se présente sous la forme suivante :

$$V = a + bM, \quad [74]$$

où :

V = déperdition calorique par évaporation (à 25°) ;
 M = métabolisme de base par 24 heures ; a et b les constantes.

Nous savons, d'autre part, que le métabolisme de base peut être représenté avec une bonne approximation par la somme de : 1^o la déperdition calorique due au rayonnement (R) ; 2^o la déperdition due à la conduction et à la convection (C) et 3^o la déperdition due à l'évaporation cutanée et pulmonaire (V), soit,

$$M = R + C + V \quad [75]$$

En partant des équations 70, 72, 74 et 75, nous pouvons écrire :

$$M = a + bM + (k + k') S \quad (1) \quad [76]$$

Ce qui donne :

$$M = \frac{a}{1-b} + \frac{(k + k')}{1-b} S \quad [77]$$

$(k + k')$ étant plus petit pour les sujets obèses que pour les sujets normaux (d'après les équations 71 et 73) et a et b restant les mêmes quel que soit l'état d'adiposité, l'équation 77 montre que le métabolisme de base doit être moins élevé pour les obèses que pour les normaux.

Les femmes et les sujets âgés, présentant un pannicule adipeux sous-cutané généralement plus épais que les hommes et les sujets jeunes, il n'est pas étonnant, d'après Bohnenkamp, de constater la différence entre les valeurs du métabolisme de base de ces différents sujets.

Nous avons vu que les conclusions, que Bohnenkamp fait ressortir de sa théorie, ne trouvent pas de vérification expérimentale. Le métabolisme de base d'une femme obèse n'est pas inférieur en moyenne, à surface égale, à celui d'une femme normale. L'équation de la forme de celle que nous avons reproduite ci-dessus se vérifie par l'expérience sur les sujets de gabarit très différent, les constantes de l'équation restant sensiblement les mêmes. Dans les conditions dans lesquelles nous avons pu constater une diminution du métabolisme de base en fonction de l'âge (fig. 18)⁽¹⁾ il nous a été impossible d'en saisir la décroissance avec l'augmentation

(1) En fait, ce n'est pas la même surface qui intervient dans la déperdition par rayonnement ou par conduction. Dans le premier cas, il faut tenir compte de la surface « rayonnante » et, dans le second, de la surface « géométrique ». Cette distinction ne modifie pourtant pas le raisonnement développé ici. (Voir p. 95.)

de l'indice d'obésité. Tant que ces constatations de fait ne seront pas contestées sur le terrain expérimental, la théorie de Bohnenkamp ne peut pas être retenue.

Pourtant, il serait intéressant, nous semble-t-il, de chercher l'explication des divergences qui apparaissent ainsi entre les faits et la théorie de cet auteur. Nous croyons en effet qu'il est possible de préciser les conditions expérimentales dans lesquelles on peut reprendre, quoique sous une forme modifiée, les équations de Bohnenkamp.

b) CRITIQUE DE LA THÉORIE DE BOHNENKAMP.

Nous avons vu que Bohnenkamp s'appuie sur les considérations suivantes :

1^{re} considération. — Diminution de la déperdition de chaleur « sensible » par unité de surface, à une température fixe du milieu ambiant avec l'augmentation de l'indice d'obésité (diminution du coefficient $(k + k')$ de l'équation 77).

2^e considération. — Possibilité d'appliquer l'équation 74 tirée des recherches de Benedict et Root (fixant la déperdition partielle par évaporation en fonction du métabolisme de base) à tous les sujets, quel que soit leur état d'adiposité, à une température fixe du milieu ambiant (égalité pour tous des constantes a et b de l'équation 74).

La théorie de Bohnenkamp n'étant pas vérifiée par l'expérience, il faut donc admettre qu'au moins l'une de ces deux considérations est inexacte. C'est ainsi qu'il faut conclure que : ou bien les « obèses » et les « normaux » ont la même température cutanée moyenne, ou bien leur déperdition par évaporation ne peut pas s'exprimer par la même équation linéaire, à une température fixe du milieu.

Malheureusement, il n'existe pas de recherches expérimentales qui pourraient nous permettre dès maintenant d'être fixés sur cette question. Celles de Heller [58], qui s'est élevé contre les hypothèses de Bohnenkamp, semblent en effet être basées sur un nombre insuffisant d'observations. Les expériences de cet auteur sont d'ailleurs conduites dans

des conditions extérieures difficilement comparables à celles discutées par Bohnenkamp [22].

Cependant, en attendant les nouvelles recherches, nous pouvons dès à présent tirer des conclusions intéressantes de la discussion que nous venons de faire. Si l'équation 74 ne peut pas être vérifiée sur les sujets de gabarits différents à une température fixe du milieu ambiant, rien ne nous empêche de placer délibérément chaque sujet examiné à une température telle que cette équation puisse se vérifier. Cette température sera, par conséquent, variable selon les individus. En plaçant des sujets différents à cette température variable, nous définirons donc les conditions expérimentales dans lesquelles une loi analogue à celle de Bohnenkamp pourra être appliquée à tout le monde.

Appelons cette température variable du milieu ambiant, température « équivalente ». A température « équivalente », les constantes a et b de l'équation 74 seront les mêmes pour tous, par définition. Le coefficient $(k + k')$ de l'équation 77 sera par conséquent également identique, quel que soit le gabarit du sujet examiné (le métabolisme total ayant été trouvé le même pour tous ces sujets, à surface égale). La constance des coefficients k et k' permettra de définir la relation qui existe, pour les différents sujets, entre la température « équivalente » et la température cutanée moyenne à cette température « équivalente » d'après les équations 71 et 73. Si, à température « équivalente », la température cutanée moyenne des obèses est inférieure à celle de sujets normaux, la température « équivalente » doit être elle-même plus basse pour les sujets présentant un indice d'adiposité élevé. Si la température cutanée moyenne est, à température « équivalente », la même chez tous les sujets, cette dernière température sera également identique.

On voit par conséquent que, contrairement à ce que pense Bohnenkamp, l'examen des lois physiques, régissant la déperdition calorifique de l'homme, n'entraîne nullement la conclusion, impliquant pour les obèses une nécessité de diminuer leurs échanges de base. Pas plus que sur le terrain expérimental, le point de vue de Bohnenkamp ne peut pas être retenu sur le terrain théorique.

c) INTRODUCTION DE LA NEUTRALITÉ THERMIQUE
ET DE LA TEMPÉRATURE « ÉQUIVALENTE »
DANS LA LOI DU MÉTABOLISME DE BASE.

On pourrait penser que la température « équivalente » est nécessairement celle du « point » de neutralité thermique. La nécessité de considérer la température de neutralité thermique s'imposerait même si l'on rattachait à cette température, et à elle seule, la production du minimum du métabolisme. Lapique [76-77], d'ailleurs, a montré depuis fort longtemps l'intérêt de considérer la neutralité thermique en comparant le métabolisme de base dans la série animale.

En réalité, la « température équivalente » se laisse définir d'une façon plus précise que celle de neutralité thermique, du moins chez l'homme.

Si l'on voulait déterminer chez l'homme le « point » de neutralité thermique, on devrait procéder de la façon suivante. On effectuerait des déterminations du métabolisme en partant des températures basses. On constaterait alors une diminution progressive des échanges au fur et à mesure que l'on s'élèverait sur l'échelle des températures extérieures (voir la fig. 22). Ceci en raison des nécessités de thermolyse supplémentaire que présente le sujet dans la zone du froid pour maintenir sa température centrale (« marge de la thermogénèse »). Arrivé à une certaine température, on constaterait que le métabolisme ne diminue plus. Il se ferait en effet, à cette température, entre la thermogénèse et la thermolyse un équilibre tel, qu'il n'exigerait aucun effort supplémentaire de la part de l'appareil thermorégulateur pour maintenir constante la température du corps [81]. Ce serait classiquement le point où le métabolisme atteindrait son minimum. Ce serait justement le « point de neutralité thermique ». Il semble bien que ce point devrait être situé plus bas pour les obèses que pour les sujets normaux. La présence d'un pannicule adipeux épais leur permettrait en effet de mieux se défendre contre le refroidissement.

En fait, il n'existe pas de « point » précis de neutralité thermique, du moins chez l'homme. Lorsque l'on considère les

échanges en fonction de la température, le minimum n'est pas nettement défini. Il se produit en effet, pour une certaine marge des températures, un *plateau* qui représente la grandeur des échanges au-dessous de laquelle le sujet ne peut pas descendre [Delcourt-Bernard et Mayer, 39 ; Li-

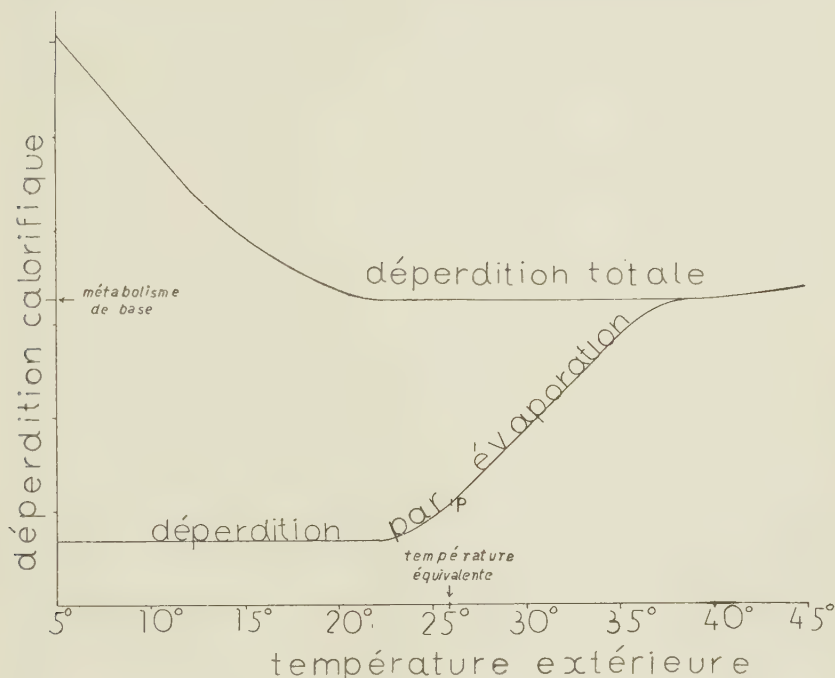


FIG. 22. — Cette figure représente schématiquement l'évolution de la déperdition totale et de la déperdition par évaporation chez l'homme en fonction de la température extérieure. Nous nous sommes appuyé, pour construire ce graphique, en partie sur les recherches de August et Lefèvre, en partie sur des recherches personnelles. La température « équivalente » a été définie ici comme celle à laquelle un tiers de la déperdition totale de chaleur est éliminé par évaporation (voir plus loin, p. 94).

berson et Marquès, 86]. Au niveau de ce « plateau », allant plus ou moins loin dans la zone du chaud, le volume total des échanges reste approximativement le même. Mais la façon dont s'additionnent les déperditions partielles, par rayonnement, conduction, convection et évaporation, se modifie continuellement en fonction de la température extérieure. Il est d'ailleurs malaisé de déterminer, dans une certaine région thermique, dans quelle mesure ce jeu de compen-

sations se fait par l'intervention active de l'appareil thermorégulateur et dans quelle mesure il résulte des phénomènes purement physiques, commandant la déperdition de chaleur aux différents niveaux thermiques. En d'autres termes, il est très difficile de saisir exactement le moment où l'appareil thermorégulateur entre en jeu.

Cependant, du fait même de l'existence de ce plateau, nous pouvons choisir, pour chaque individu, une « température équivalente » parmi les températures assurant chez lui, quel que soit son indice de gabarit, le maintien des échanges à leur niveau de base. Il suffira pour cela de déterminer pour chaque individu (ou pour chaque catégorie d'individus) la courbe du métabolisme de base et celle de la déperdition calorifique par évaporation en fonction de la température extérieure (voir fig. 22). Sur cette dernière courbe, nous déterminerons le point p de façon à satisfaire l'équation 74 pour tous les sujets. L'abscisse de ce point (p) sera la température cherchée. Introduite dans l'équation de Bohnenkamp, elle lui permettra de s'appliquer aux sujets de gabarits très différents.

On pourra même faire une simplification importante. Les constantes a et b de l'équation 74 peuvent en effet être choisies par nous. La seule condition qu'on doit respecter, c'est celle de situer la « température équivalente » dans la zone du plateau des échanges (ou assez près de leur minimum, s'il existe), quel que soit le sujet examiné. En posant

$$a = 0 \quad [78]$$

nous simplifions considérablement notre tâche. Nous n'avons alors qu'à choisir la constante b . Admettons que cette constante soit égale à un quart. C'est dire que nous définissons la « température équivalente » comme celle pour laquelle un quart de la déperdition calorifique totale de base se fait par évaporation. Les recherches ultérieures montreront si ce choix est bien fait.

Nous pouvons donc écrire :

$$V = \frac{1}{4} M \quad [79]$$

Dans cette équation, V = déperdition par évaporation et M = métabolisme de base.

Des équations 75, 76, 77, 78 et 79, tirons :

$$M = \frac{4}{3} (k + k') S \quad [80]$$

La loi des surfaces apparaît ainsi, à « température équivalente », sous sa forme classique. On voit ainsi que le métabolisme est proportionnel à la surface.

Écrivons maintenant l'équation de Stefan-Boltzmann fixant la déperdition par rayonnement en fonction de la surface rayonnante, soit :

$$R = \sigma (T_c^4 - T_e^4) 86.400. S_{ray} \quad [81]$$

Dans cette équation, R = déperdition calorifique par rayonnement ; σ = constante universelle de Stefan-Boltzmann ; T_c = température eutannée moyenne (absolue) ; T_e = température « équivalente » (absolue) ; S = surface rayonnante et 86.400 = nombre de secondes par 24 heures.

Cette expression peut se simplifier, si l'on admet que l'expression $(T_c - T_e)$ est suffisamment petite. Soit,

$$R = 4 \sigma T_e^3 (T_c - T_e) 86.400. S_{ray} \quad [82]$$

D'autre part, nous pouvons écrire, en nous appuyant sur l'équation 17 de la page 23 et sur l'équation 73 de la page 88, en tenant compte de plus du fait que la surface rayonnante représente chez les femmes environ 85 p. 100 de leur surface « géométrique » :

$$C = 11 \times 10^{-4} (T_c - T_e) 86.400. S_{ray} \quad [83]$$

où C est la déperdition par conduction et convection, les autres symboles restant les mêmes que précédemment. Nous pouvons par conséquent écrire pour le métabolisme de base (M), en nous appuyant sur les équations 80, 82 et 83 :

$$M = (5,33 \sigma T_e^3 + 14 \times 10^{-4}) (T_c - T_e) 86.400. S_{ray} \quad [84]$$

Bohnenkamp ajoute à cet ensemble de déperditions calorifiques une déperdition résiduelle (par échauffement de l'air pulmonaire, etc.) qui représenterait environ 2 p. 100 du métabolisme de base. Étant donné que la simplification de la loi de Stefan-Boltzmann (82) amène une légère surestimation du métabolisme de base pour l'ordre de grandeur des températures en question, nous n'avons pas introduit la déperdition résiduelle dans notre équation générale 84.

Cette loi ne s'appliquerait pas seulement aux catégories de sujets dont le métabolisme de base est régi par la loi des surfaces. Les échanges de base des individus de sexe et d'âge différents, placés dans les conditions strictement définies par Bohnenkamp (sauf, bien entendu, en ce qui concerne les conditions thermiques), seront également régis par la loi (84) à « température équivalente ». Ainsi l'équation 84 traduit explicitement et implicitement un équilibre entre la déperdition totale de base, les déperditions partielles, l'âge des sujets, leur configuration corporelle, la température qui pour chacun d'eux est « équivalente », et la température cutanée moyenne qu'ils présentent à cette température équivalente. Ceci dans les conditions expérimentales strictement définies.

4^o Recherches concernant la déperdition par évaporation dans la série animale.

Il est intéressant de considérer à ce point de vue les recherches concernant l'évaporation d'eau chez divers homéothermes. Mayer et Nichita [93] ont étudié le rapport *eau évaporée* / *oxygène consommé* sur le lapin. Pour Kayser [66], ce rapport serait identique dans la série animale à une température extérieure déterminée. Il en serait de même à la neutralité thermique. Chevillard [33] est revenu tout récemment sur cette question. Cet auteur a constaté chez la souris blanche à 29° la même quantité d'eau évaporée par unité de surface que celle trouvée antérieurement par Mayer et Nichita [83] sur le lapin à la même température. D'autre part, cet auteur a réuni dans un tableau les valeurs de ce rapport, données par différents auteurs pour l'homme, le lapin, le rat et la souris blanche à 18-20°. Ces différentes valeurs sont sensiblement les mêmes.

Si les faits rapportés par ces auteurs étaient définitivement confirmés, nous pourrions en tirer une conséquence curieuse à la lumière de la discussion que nous venons de faire. Rappelons la loi que nous avons déduite pour la « température équivalente » chez l'homme, exprimée sous une forme simplifiée :

$$M = (AT_e^3 + B) (T_{cut} - T_e) S \quad [85]$$

où M = métabolisme de base, S = surface rayonnante, T_e = température équivalente (absolue), T_{cut} = température cutanée moyenne (absolue) constatée à « température équivalente » ; A et B les constantes de l'équation 84.

Une telle loi pourrait se vérifier dans la série animale à « température équivalente » si les conditions suivantes étaient remplies :

1^o Les homéothermes examinés se comportent comme des « corps noirs », du moins en ce qui concerne le rayonnement calorifique. Ce fait a été admis jusqu'à présent, du moins pour l'homme [Rubner, 109], [Cobet, 36], [Cobet et Bramigk, 37], [Saidman, 111]. (Pourtant : voir Christiansen et Larsen, 35.)

2^o Dans les régions de l'échelle thermique, correspondant à la neutralité thermique des homéothermes envisagés, l'on peut déterminer une « température équivalente ». Ceci résulte directement des recherches de Mayer et Nichita, de Kayser et de Chevillard.

3^o Le coefficient de proportionnalité de l'équation fixant la déperdition de chaleur par conduction et convection, par unité de surface, en fonction de l'écart entre les températures cutanée et ambiante, est le même pour ces homéothermes. (Voir Buttner, 132.) Ces faits n'ont pas encore été soumis à une étude expérimentale.

4^o Le rapport de la surface « rayonnante » à la surface « géométrique » est le même chez les homéothermes en question. Il semble bien qu'il doive en être ainsi pour certains groupes d'homéothermes.

5^o La température cutanée moyenne, que l'on doit prendre en considération en évaluant la déperdition par rayonnement, est la même que celle qui intervient dans les calculs de la déperdition par convection et conduction. (Voir Christiansen et Larsen, 35.) Ceci équivaut à la condition exprimée par l'alinéa 1^o.

Enfin, tous les homéothermes envisagés doivent être étudiés dans des conditions expérimentales strictement définies et comparables pour tous. Ceci doit s'appliquer en particulier aux conditions concernant le milieu ambiant. La tempéra-

ture des murs et de l'air doit être la même ; tous les objets présents dans la pièce doivent se comporter comme des « corps noirs » ; les conditions d'humidité et d'immobilité de l'air ambiant doivent être soigneusement étudiées, etc.

La loi (85) pourra alors être appliquée et sera vérifiée dans la mesure où les conditions ci-dessus énumérées seront elles-mêmes respectées. Il semble bien qu'il pourra en être ainsi pour certaines catégories d'homéothermes assez étendues.

Admettons maintenant qu'à l'intérieur d'une telle catégorie animale le rapport : *déperdition par évaporation / métabolisme de base* soit constant à chaque température de la zone de neutralité thermique. Comme on le voit, ceci est directement suggéré par les faits constatés par Kayser [65]. Admettons en outre que les zones de neutralité thermique des homéothermes envisagés chevauchent les unes sur les autres. Il en résulte qu'une certaine valeur du rapport en question fixera une température extérieure correspondant à la zone de neutralité commune à tous ces homéothermes. La « température équivalente », telle que nous l'avons définie et introduite dans l'équation 85, sera donc la même pour toutes les espèces animales en question. Écrivons cette équation de la façon suivante :

$$\frac{M}{S} = (AT_e^3 + B) (T_c - T_e) \quad [86]$$

dont les symboles ont la même signification que ceux de l'équation 85.

Si la loi des surfaces s'appliquait aux homéothermes examinés, le membre gauche de l'équation 86 serait constant. Il en est donc ainsi également du membre droit. Dans cette dernière expression, la « température équivalente » est la même pour tous ces homéothermes, comme nous venons de le voir. La température moyenne de la surface rayonnante à « température équivalente » est donc également la même pour tous ces homéothermes.

Si, au lieu de définir la « température équivalente » comme celle à laquelle la déperdition par évaporation représente 1/4 de la déperdition totale, nous l'avons définie par un autre rapport fixe entre ces deux facteurs, nous aurions trouvé de la même manière la constance de la température moyenne de

la surface rayonnante pour une autre température extérieure. Nous aurions pu procéder ainsi pour chaque température extérieure choisie dans la zone de neutralité thermique commune à ces différents homéothermes. *A toutes ces températures, la température cutanée moyenne de leur surface rayonnante serait la même.* C'est là une conclusion curieuse à laquelle nous amène l'examen des faits rapportés par les auteurs cités, à la lumière de l'analyse de l'expression 86 (1).

(1) On arrive d'ailleurs à la même conclusion pour ainsi dire intuitivement. En effet, si par unité de surface 1° la déperdition calorifique totale et la déperdition par évaporation sont les mêmes, pour une température donnée de la zone de neutralité thermique, dans la série animale, et 2° il existe une région commune de cette zone pour les homéothermes envisagés, on doit nécessairement conclure que la déperdition sensible est également la même pour les animaux en question. Or, à une température constante du milieu ambiant, la même quantité de chaleur sensible ne peut être éliminée que si la température cutanée moyenne est la même pour les différents homéothermes (sous réserves formulées plus haut).

Ce résultat ne peut évidemment pas être admis pour tous les homéothermes. Mais alors, il est impossible de généraliser les conclusions de Chevillard [33], concernant l'égalité de la déperdition par évaporation, par unité de surface, à une température constante du milieu ambiant. Voici comment s'exprime l'auteur cité au sujet de cette égalité :

« Ce résultat est tout à fait surprenant. Entre les différents points de la surface corporelle d'un animal, il y a déjà des écarts de température très notables. Mais bien plus, en passant d'une espèce à une autre, la forme géométrique et la nature même de la surface (épaisseur et densité de la fourrure) variant considérablement. N'oublions pas non plus que l'homme, par exemple, est doté des glandes sudoripares alors que le lapin, le rat et la souris en sont dépourvus. Mais, d'autre part, il faut remarquer que pour des températures extérieures inférieures à celles de la neutralité thermique, la plus grande part de l'eau évaporée par l'animal provient de l'évaporation pulmonaire. C'est peut-être cette dernière émission d'eau qui contre-balance en partie les variations dues aux autres origines, puisque, si la surface des organes est fonction de la surface corporelle, la surface des poumons (tout comme d'ailleurs la vitesse des mouvements, 18 chez l'homme, 200 chez la souris) serait d'autant plus grande relativement que l'animal est petit. » [33, p. 1.069.]

D'après l'analyse que nous avons faite de l'expression 86, cette hypothèse ne serait donc pas nécessaire lorsqu'il s'agit de températures de neutralité thermique. Or, il convient de souligner que les résultats que nous avons déduits ne concernent que la zone de neutralité, commune aux homéothermes envisagés. Ajoutons en plus qu'un très léger écart de la température extérieure de la zone de neutralité thermique correspond à une modification très sensible de la déperdition par évaporation. (Voir fig. 22.) Il est donc particulièrement difficile d'établir la constance du rapport eau évaporée/oxygène consommé dans cette zone thermique chez les différents homéothermes.

Par contre, aux températures inférieures à la neutralité, le membre gauche de l'expression 86 est plus élevé chez les petits animaux que chez les gros [Lapicque, 76-77]. D'après cette expression, la température cutanée moyenne devra donc être plus élevée, à température équivalente, chez les premiers que chez les seconds. Le mécanisme invoqué par Chevillard pourrait alors intervenir éventuellement.

5° Le métabolisme de base est une constante biométrique.

a) INDÉPENDANCE RELATIVE DES ÉCHANGES DE BASE VIS-A-VIS DES CONDITIONS DE LA THERMOLYSE.

Nous avons analysé plus haut les différentes éventualités qui peuvent se présenter en ce qui concerne diverses composantes de la déperdition calorifique totale de base. Nous avons donné également une équation générale (84) qui exprime les échanges de base de l'homme à une température que nous avons définie comme « équivalente ».

Cette analyse n'avait pour but que de préciser les conditions physiques, physiologiques et mathématiques les plus simples (1) susceptibles de nous montrer, par une vérification directe, le sens concret de la loi des surfaces et de nous permettre de la discuter à la lumière des faits apportés par nous et par d'autres auteurs.

Différents physiologistes se sont préoccupés de la signification profonde de cette loi. Ils ont cherché les raisons qui pourraient expliquer le rôle joué par la surface dans la régulation du métabolisme de base de divers homéothermes.

Ce n'est pas la possibilité de représenter le métabolisme de base en fonction de la surface par une équation rationnelle qui peut surprendre le biologiste. Le fait qu'un animal émet de la chaleur suffit pour concevoir les conditions du milieu ambiant où cette émission pourrait être représentée assez simplement comme proportionnelle à la surface. Ce qui paraît surprenant, c'est que le coefficient de proportionnalité qui intervient dans cette équation soit relativement constant chez tous les homéothermes, lorsqu'il s'agit de la production de l'énergie de base. Autrement dit, ce qui surprend, c'est que l'expression suivante, tirée de l'équation 86

$$(AT_e^3 + B) (T_c - T_e) \quad [87]$$

reste constante pour toutes les espèces animales.

C'est en effet la constance de cette expression fondamentale que traduit la loi des surfaces. Or, elle n'exprime qu'une

(1) Ce sont pour ainsi dire des conditions « idéales », difficilement atteintes en pratique. Le lecteur trouvera, dans la revue récente de Deighton [38], le résumé de nos connaissances actuelles sur ce sujet.

constatation de fait. Rien ne permet de prouver que cette loi est imposée par les conditions du milieu extérieur ou en vertu d'un principe supérieur de la nature. La meilleure preuve qu'il n'en est rien est donnée par l'examen des échanges de base des sujets de sexe et d'âge différents. Un garçon âgé de 5 ans présente en moyenne un métabolisme de base par unité de surface presque 2 fois plus élevé que celui d'une femme âgée de 70 ans, alors que cette grandeur reste sensiblement la même pour une souris et pour un éléphant. Si, cependant, on voulait se baser uniquement sur les considérations de la similitude morphologique ou sur les conditions de l'adaptation au milieu ambiant, on aurait certainement prévu le contraire.

Lapicque a montré depuis longtemps que la loi des surfaces est en défaut lorsque l'on considère le métabolisme à une température mettant en jeu la « marge de la thermogénèse ». C'est pourtant à cette température que l'on devrait trouver la preuve de l'adaptation des homéothermes au milieu ambiant, en tant que facteur déterminant la loi des surfaces, du moins pour certaines espèces animales. Un autre argument, donné par Lapicque en faveur de ce point de vue, est fourni par la constatation chez certains poïkilothermes de la loi des surfaces [78]. (Pourtant voir : Terroine et Delpech [119] (1).)

(1) Si la loi des surfaces, traduite dans la série animale par la constance de l'expression 87, ne peut pas être rattachée à un principe général, postulé *a priori*, il convient tout de même de faire remarquer que les variations considérables de la valeur de cette expression ne seraient pas compatibles avec l'organisation et les conditions de vie des homéothermes. On saisit ainsi la nécessité biologique de la loi des tailles. On sait en effet que tous les homéothermes ont une température corporelle sensiblement identique. D'autre part, à température corporelle constante, et à neutralité thermique, la température moyenne de la peau est fonction de la température extérieure et de la conductibilité moyenne de la surface cutanée et des régions sous-cutanées. Supposons que le métabolisme de base, rapporté à l'unité de surface, soit pour une espèce animale, bien plus élevé que celui indiqué par la loi des surfaces. D'après l'expression 86, cette constatation se traduirait soit 1) par une élévation de la température cutanée moyenne ; soit 2) par un abaissement de la température de neutralité thermique (température équivalente) ; soit enfin 3) par les modifications simultanées de ces deux facteurs. L'augmentation de la température cutanée est limitée par la température du corps dont elle ne pourrait pas s'approcher sans modifications morphologiques importantes (concernant la répartition de la graisse, la circulation périphérique, etc...). D'autre part, la diminution sensible de la température de neutralité thermique aurait comme conséquence, pour cet homéotherme, la nécessité de séjourner continuellement au-dessus de la neutralité thermique. Or ce fait aurait de graves inconvénients pour l'animal en question. Aux températures ordinaires de nos climats cet homéotherme devrait éliminer la chaleur produite principalement par évaporation. Il faudra par conséquent que cet homéotherme ait un métabolisme d'eau adapté à cette fin. Il faudra qu'il puisse trouver de l'eau en excès pour l'évaporer. C'est le premier facteur limitant. D'autre part l'évaporation de l'eau peut se faire par deux mécanismes

Si le rôle de la surface n'apparaît pas clairement dans la genèse de la loi de Rubner-Richet en examinant l'évolution des homéothermes, il en est *a fortiori* ainsi en ce qui concerne les relations directes entre la surface et la thermogénèse.

Bohnenkamp [22] a cherché à préciser les conditions dans lesquelles on doit placer les sujets pour rendre comparables leurs échanges de base. Ainsi, le sujet doit être complètement nu, les bras pendants et les pieds joints. Sa « surface rayonnante » doit être évaluée dans les conditions mêmes de l'expérience. En effet, divers sujets habillés ne portent pas en général les mêmes vêtements, ce qui les met dans les conditions difficilement comparables ; même si les

différents : soit par évaporation cutanée, soit par évaporation pulmonaire. Pour que l'évaporation cutanée soit suffisante, il faudra que l'homéotherme en question ait, comme l'homme, les mécanismes spéciaux destinés à faciliter cette évaporation (glandes sudoripares). Or, l'on sait que la sueur emporte avec elle les sels, ce qui peut troubler gravement le métabolisme des sels. C'est le deuxième facteur limitant. Enfin, l'évaporation pulmonaire ne serait suffisante que s'il existait une polypnée intense. Or, l'augmentation du volume de la respiration n'a pas seulement pour conséquence l'augmentation de la déperdition d'eau. La ventilation pulmonaire augmentant plus vite que les échanges eux-mêmes entraînerait un abaissement du CO_2 alvéolaire. L'équilibre acido-basique du sang serait donc lui-même menacé. C'est le troisième facteur limitant. Le calcul montre que, si le rayonnement de base par unité de surface était triplé, la température cutanée restant constante, la température de neutralité thermique devrait baisser de 10° pour satisfaire la loi de Stefan-Boltzmann. Elle baisserait de 20° si le métabolisme était quintuplé.

Le raisonnement que nous venons de faire montre que pour un homéotherme, dont le métabolisme de base rapporté à la surface est 3 à 5 fois plus élevé que celui des autres homéothermes, la thermolyse présenterait de très grandes difficultés. Il serait imprudent, par conséquent, de ne pas tenir compte de la thermolyse dans la genèse de la loi des tailles. La thermolyse ne serait pas d'ailleurs la seule à être perturbée par une augmentation des échanges allant de 1 à 5, par exemple. Tout l'équilibre morphologique et physiologique, concernant le taux des tissus actifs, celui des tissus de réserve, la circulation, la respiration, le rendement énergétique des différents processus vitaux, devrait être alors radicalement perturbé. L'augmentation des besoins alimentaires aurait également pour conséquence la modification du comportement de l'animal et celle de ses rapports avec d'autres animaux. Tous ces facteurs seraient déjà modifiés si le métabolisme de base n'était que 5 fois plus élevé par rapport à ce qu'il est en réalité. Rappelons maintenant que si le métabolisme de base était le même par unité de poids chez l'homme, par exemple, que chez la souris, il serait environ 20 fois plus élevé qu'il ne l'est en fait.

On voit par conséquent que l'analyse de l'équation 86 montre sans contester la nécessité pour les homéothermes de conserver *entre certaines limites* la constance des échanges de base par unité de surface pour ne pas compromettre radicalement leur équilibre morphologique et fonctionnel. Cependant, ces considérations ne peuvent pas permettre de nous rendre compte de la raison du *degré* de constance de l'expression 87 telle qu'elle s'observe en fait. Force nous est d'admettre alors l'existence des autres facteurs qui contribuent à cette constance.

Giaja [52] a fait autrefois un raisonnement analogue à celui développé plus haut pour expliquer la loi des surfaces. Cependant, pas plus que dans les considérations ci-dessus exposées, nous ne trouvons, dans la publication de Giaja, d'arguments en faveur de la nécessité absolue pour les homéothermes de maintenir constante l'expression 87.

vêtements étaient identiques, la façon de les mettre, différente selon les individus, suffirait, d'après Bohnenkamp, pour influencer la surface rayonnante réelle. D'autre part, seule la position debout assure les conditions comparables à ce point de vue. Il suffirait de lever les bras pour que la surface rayonnante augmente. Si, de plus, le sujet écartait les jambes, elle serait accrue considérablement (1). A ces différents facteurs nous avons ajouté la « température équivalente » comme condition facilitant l'expression du métabolisme de base en fonction de la surface. La « température équivalente » est choisie dans la zone de neutralité thermique.

Cependant, les conditions de neutralité thermique ne sont pas les seules dans lesquelles on constate le métabolisme de base. La loi des surfaces a été découverte sans que les physiologistes se soient souciés outre mesure de mettre leurs sujets dans les conditions aussi rigoureusement définies. Quelles que soient les conditions dans lesquelles on place les sujets en expérience, habillés ou nus, couchés ou assis, les bras pendants ou écartés, conditions qui modifient considérablement la surface rayonnante, il suffit de supprimer la « marge de la thermogénèse », pour retrouver, toujours la même, la grandeur du métabolisme de base.

Ainsi s'affirme l'indépendance des échanges de base de l'homme vis-à-vis des conditions extérieures actuelles : il s'agit bien d'une constante biométrique. Cette indépendance est plus manifeste encore lorsqu'on supprime complètement la plus importante des fonctions de la surface, celle qui se traduit par le rayonnement, la conduction et la convection. Nous avons eu l'occasion d'effectuer avec Marquès [86], quelques recherches où de tels faits sont apparus avec beaucoup de netteté. L'exposé de ces recherches fait l'objet du paragraphe suivant.

(1) L'augmentation considérable de la surface « active » trouvée par Bohnenkamp sur certains de ses sujets en expérience, en fonction de l'attitude du corps, suggère que la méthode qu'il a proposée pour l'évaluation de cette surface ne peut pas être admise sans discussion. Voir à ce sujet Deighton [38] et Bedford [7].

b) LES ÉCHANGES RESPIRATOIRES DE L'HOMME
A TEMPÉRATURE ÉLEVÉE.

Nous avons rappelé antérieurement que le métabolisme de base de l'homme diminue avec l'augmentation de la température du milieu ambiant. Il atteindrait un minimum au niveau de la neutralité thermique. (Voir fig. 22.) Que se passe-t-il lorsque la température extérieure dépasse ce niveau ?

Nous avons déjà rappelé que cette valeur minimum s'observe pour une certaine étendue de l'échelle thermique.

Cependant, il est classique de dire, lorsqu'on envisage un homéotherme en général, qu'il existe, à côté des dépenses constituant la « marge de la thermogénèse », les dépenses spéciales de la thermolyse.

« L'élimination de toute dépense de thermogénèse ou de thermolyse peut seule faire apparaître, dans sa pureté, la valeur de la chaleur non réglable. C'est dire que l'organisme doit être placé dans des conditions telles que, n'ayant d'une part besoin d'aucune combustion pour lutter contre le froid, il puisse, dans le même temps, perdre la chaleur résultant du travail physiologique sans travail supplémentaire, » écrit Terroine dans sa remarquable revue générale des travaux relatifs au métabolisme de base [118].

Cependant, les dépenses énergétiques supplémentaires, se produisant au-dessus de la neutralité thermique, n'ont pas été retrouvées par tous les auteurs. Observées par Terroine et Trautmann [121], par Kayser [65], par Mayer et Nichita [92], par Anrep et Hammouda [1] et d'autres, elles n'ont pas été constatées par Garrelon [47], ni, plus récemment, par Giaja [53], d'une part, Lefèvre et Auguet [84], d'autre part. Giaja, Lefèvre et Auguet concluent même de leurs recherches respectives qu'il se produit une diminution du métabolisme de base à température élevée.

Cependant, il convient de bien préciser que ces contradictions ne concernent que les animaux dont le mécanisme dépensier est constitué en grande partie par une polypnée

thermique. Or, l'homme ne présente pas de polypnée thermique, tout au moins aux températures ne dépassant pas 50°. A ces températures, l'homme perd sa chaleur en excès, essentiellement par la sudation. L'hyperventilation pulmonaire qu'il peut présenter à ces températures est relativement peu importante. D'ailleurs, tous les auteurs qui se sont proposé d'évaluer la part qui revient à l'activité des muscles respiratoires dans le métabolisme de base ont trouvé qu'elle varie de 1 à 3 p. 100 de celui-ci, suivant le rythme de la respiration [112]. Or nous avons vu, dans nos expériences sur le métabolisme de base [86], que la ventilation n'a été augmentée que de 5 p. 100 environ. Quant au « travail » de sudation, il ne dépasserait pas 1 p. 100 du volume global d'échanges, suivant l'évaluation récente de Christiansen [34], chez les sujets dont la température interne a été forcée, subissant une élévation de 2°C.

De même, le coût du travail supplémentaire du cœur, à température élevée, doit être considéré comme très bas quand on pense que la part qui revient au travail de cet organe n'entre dans l'ensemble des dépenses de base que pour un pourcentage très faible [112] (1).

Dès lors il est difficile, même *a priori*, d'attribuer une valeur importante aux « dépenses de thermolyse ».

D'ailleurs, Delcourt-Bernard et Mayer [39] ont soumis ce problème à une étude expérimentale.

Ces auteurs n'ont pas trouvé d'augmentation des échanges chez l'homme se trouvant pendant un quart d'heure à température dépassant 40°. Voilà comment s'expriment ces auteurs :

« L'élévation jusqu'à plus de 40° de la température de l'air qui baigne le corps (tronc et membres, à l'exclusion de la tête), pendant un temps court, ne détermine pas une variation immédiate des échanges » [39] (p. 479). » Le léger travail de thermorégulation ainsi imposé ne se traduit pas pas une dépense sensible d'énergie. Cette thermorégulation ne « coûte » presque rien » [39] (p. 495).

Malheureusement, les conditions spéciales ainsi que la

(1) Les recherches expérimentales de Melik-Megrabow [96] lui ont permis d'évaluer la consommation d'oxygène d'un cœur humain à 22 lit. 5 par 24 heures.

brèveté particulière de ces expériences étaient de nature à affaiblir leur portée générale.

Nous avons été conduit [86] à étudier ce problème par une voie détournée. Nous nous sommes demandé si le rendement énergétique du travail est diminué ou non lorsqu'on élève considérablement la température du milieu ambiant (jusqu'à 40°-50°). En effet, les dépenses de thermolyse devraient avoir, semble-t-il, une influence importante sur le rendement énergétique. Si même, dans les conditions de repos absolu, l'élévation thermique du milieu ambiant commande la mise en jeu d'un « travail supplémentaire » entraînant des dépenses, à plus forte raison, l'organisme ouvrier, producteur pendant le travail d'une quantité bien plus élevée de chaleur non utilisable, devrait dépenser pour maintenir sa température au niveau le plus proche possible de celle de repos. Autrement dit, le coût du travail devrait être, en partant de ces considérations, plus élevé au-dessus de la neutralité thermique qu'à son niveau et d'autant plus élevé que le pouvoir réfrigérant du milieu est plus bas.

Or, les recherches expérimentales effectuées dans ce sens n'ont pas donné de résultats concordants. Les travaux de Langlois [72-73] lui ont permis de conclure que le rendement énergétique à température élevée diminue d'environ 25 p. 100. Par contre, les recherches de L. Hill et Cambell [61], celles de Ohnishi [97] et enfin celles plus récentes de Dill, Edwards, Bauer et Levenson [40] aboutissent à une conclusion opposée. Dill et ses collaborateurs, ayant exploré les températures allant jusqu'à 34°, n'ont pas constaté de diminution du rendement énergétique à chaud.

A mesure que nous avançons dans nos propres recherches concernant le métabolisme de travail, nous nous sommes rendu compte des divergences entre les données expérimentales concernant le métabolisme de repos aux différentes températures et la notion classique des dépenses de thermolyse. Aussi avons-nous pensé utile de confronter au cours de ces recherches les faits et la doctrine, dans une série d'expériences spécialement instituées à cet effet. Nous avons recueilli un certain nombre de faits concernant non seulement le métabolisme de travail, mais aussi le métabolisme de repos et de base. Or, nous n'avons pas trouvé, au cours de nos re-

cherches, de faits pouvant nous inciter à admettre une valeur quelque peu importante aux dépenses de thermolyse.

En ce qui concerne le métabolisme de repos ou de base, nous avons vu que même un séjour prolongé (2 heures) à température élevée (45°) ne détermine pas de dépense sensible d'énergie supplémentaire. En ce qui concerne le métabolisme de travail, nous avons constaté que même une activité considérable de l'appareil dépensier ne coûte « presque rien ». En effet quelques 3-5 p. 100 d'augmentation que nous avons constatés dans certaines séries expérimentales ne traduisent pas uniquement les dépenses de thermolyse, mais également l'augmentation des échanges par l'hyperthermie du sujet, due justement à l'insuffisance de la thermolyse. Or, d'après les recherches de Christiansen [34], l'on peut évaluer à environ 9 p. 100 l'augmentation que subit le métabolisme d'un homme, dont la température interne s'élève de 1°C .

Ainsi l'on peut admettre que, tant que la température de l'homme est constante, le métabolisme de base conserve la valeur qu'il présente au niveau de la neutralité thermique. En particulier, nous n'avons jamais constaté de diminution du métabolisme de base ou de repos à température élevée. Les résultats similaires à ceux de notre travail ont été récemment retrouvés par divers auteurs ; [Herzheimer, 60, Teeruka, 122].

La loi des surfaces s'observe donc même dans la zone du chaud. Or, la façon dont se fait le bilan des déperditions partielles est complètement perturbée à ces températures. La déperdition de chaleur ne se fait pratiquement que par l'évaporation de l'eau. Il serait par conséquent inexact de chercher dans les relations réciproques qui lient les échanges de base à la surface, à la « température équivalente » et à la température cutanée moyenne l'origine directe et immédiate de la loi des surfaces.

Le métabolisme de base est donc bien une constante biologique, indépendante des conditions expérimentales actuelles. Comment peut-on alors chercher dans l'étendue et la structure de la surface cutanée une cause immédiate fixant le niveau des échanges ? Et sous quel jour apparaît ainsi la discussion qui a partagé les physiologistes, il y a de cela quelques années sur la nécessité de mettre le sujet en expé-

rience dans un bain maintenu à 36° (1)? [Lefèvre, 82 ; Benedict, 12 et 15 ; Terroine, 118.]

6° Discussion de la corrélation que présente le métabolisme de base avec les différents facteurs biométriques.

a) RAPPEL DES THÉORIES.

La difficulté d'établir un lien logique qui pourrait permettre de rattacher directement le métabolisme de base à la surface des homéothermes pour « expliquer » la loi de Rubner-Richet a alimenté de nombreuses discussions. Nous avons analysé ces discussions dans la première partie de ce travail. Nous nous bornerons ici à les rappeler brièvement.

Tout le monde accepte les faits qui montrent la proportionnalité des échanges de base à une fonction, voisine de celle qui se

(1) Les faits que nous venons de rapporter, permettant de considérer le métabolisme de base comme une constante biométrique, peuvent sembler être en contradiction avec les récentes acquisitions concernant les échanges énergétiques des petits animaux. Ainsi Kayser [64], Giaja et Gelinéo [54], Gelinéo [50] et Chevillard [33] ont observé un abaissement progressif des échanges de base, respectivement chez le pigeon, le rat et la souris blanche, après leur séjour prolongé (plusieurs jours) à la température de la neutralité thermique. Ainsi, par exemple, un rat ayant séjourné pendant plusieurs semaines à température de 0° à 7° et transféré ensuite dans une étuve réglée à 31°, peut montrer un abaissement progressif des échanges d'environ 30 p. 100, se faisant en plusieurs jours [Gelinéo, 50]. Des faits semblables n'ont pas été retrouvés sur l'homme, du moins par tous les auteurs. Des variations saisonnières du métabolisme de base de l'homme, observé dans quelques cas isolés par Palmer, Means et Gamble [100] et Gessler [51], n'ont pas été retrouvées par Benedict et Gustafson [55]. Une diminution de l'ordre de 10 p. 100 a été constatée par Knipping [68] chez les Européens séjournant dans les régions tropicales. Cependant, Benedict [14] trouve chez les Chinoises, nées et ayant toujours vécu aux États-Unis, un métabolisme de base plus bas que celui des Américaines. La valeur du métabolisme de base serait liée, d'après cet auteur, au facteur racial. D'après ce point de vue, il n'y aurait pas d'influence immédiate du climat sur les échanges de base de l'homme habitant les régions tropicales. On pourrait expliquer à la lumière de ces travaux les modifications constatées antérieurement par Ozorio d'Almeida [99]. Nous avons vu, d'autre part, que les conditions différentes de la thermolyse résultant pour les obèses de l'augmentation du pannicule adipeux ne se répercutent pas sur le niveau de leurs échanges.

Les faits trouvés sur les petits animaux doivent être considérés comme rentrant dans la catégorie d'observations d'après lesquelles il se produit, dans certains cas, une adaptation des centres thermorégulateurs aux exigences de la thermogénèse (cas des athlètes, des jeûneurs, etc.). Cette adaptation pourrait traduire une modification de la sensibilité des centres thermorégulateurs. En tout cas, la possibilité d'une certaine variabilité des échanges des petits animaux suivant les conditions thermiques du milieu ambiant, non seulement ne contredit pas nos conclusions, mais les renforce au contraire. Ainsi on voit qu'il n'existe pas de rapport *immédiat* entre les conditions *actuelles* de la thermolyse et la thermogénèse.

rait la plus apte à traduire la surface dans la série animale ; mais divers auteurs attribuent aux différents facteurs biologiques le rôle « causal » dans la régulation des échanges de base. Pour les uns [Rubner, 107 et Richet, 103], c'est le degré de concentration des éléments nerveux par unité de poids qui serait le facteur déterminant. Pour les autres [von Hæsslin, 62 ; Terroine, 118], ce rôle serait dévolu au débit cardiaque et aux facteurs circulatoires. Pour d'autres enfin, ce seraient les caractères quantitatifs [Benedict, 9] ou qualitatifs [Le Breton et Schaeffer, 80] de la « masse cellulaire active ». En ce qui concerne l'homme, la discussion s'est poursuivie entre les défenseurs de la loi des surfaces [Du-Bois, 43] et ceux qui, comme Harris et Benedict [56], croient que la surface ne joue qu'un rôle secondaire. D'après ces derniers auteurs, il existe une cause profonde (« masse cellulaire active » affectée d'un coefficient traduisant un facteur intensif) réglant le niveau des échanges de base. La connaissance de certains caractères biométriques, tels que sexe, âge, poids et taille, permet d'évaluer en quelque sorte cette cause déterminante ; elle permet par conséquent de prévoir la grandeur du métabolisme. Si une prévision sensiblement aussi précise peut être faite en partant des valeurs de la surface, c'est parce que celle-ci est une « fonction atténuée » du poids en même temps qu'une fonction de la taille. La proportionnalité du métabolisme de base à la surface ne serait, d'après ces auteurs, qu'une sorte de « coïncidence arithmétique », en reprenant l'expression utilisée par Terroine [118].

b) INTERDÉPENDANCE DES FACTEURS BIOMÉTRIQUES.

NOMOGRAMME DE L' « HOMME MOYEN ».

La conclusion de cette discussion ne pouvait pas être tirée de l'ensemble de nos connaissances relatives au métabolisme de base des sujets normaux. Il était *a priori* à prévoir que, sur un organisme vivant présentant un tout physiologique, il serait difficile de dissocier certains facteurs pour en choisir un se trouvant à l' « origine » de la production de l'énergie de base. Constaté que le métabolisme basal peut être représenté avec une précision suffisante, soit en fonction du poids et de l'âge,

soit en fonction de la surface et de l'âge, soit enfin en fonction du débit cardiaque et de la ventilation pulmonaire, ce n'est pas avoir résolu le problème de la régulation des échanges énergétiques de base ; c'est faire état d'un certain équilibre entre plusieurs facteurs biométriques, c'est admettre leur interdépendance mutuelle.

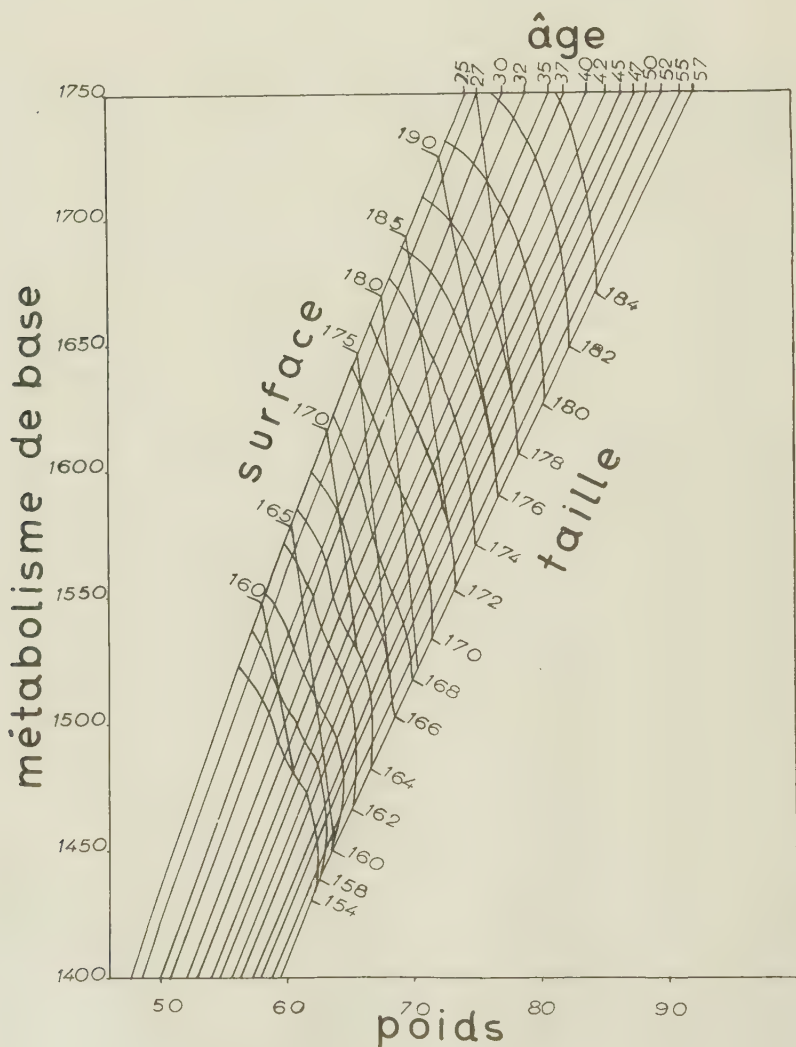


FIG. 23. — Le métabolisme de base est exprimé en grandes calories par 24 heures ; poids en kilogrammes ; surfaces en décimètres carrés ; taille en centimètres et âge en années. Voir l'explication dans le texte.

Cette interdépendance biologique peut traduire simplement un certain état d'équilibre morphologique et fonctionnel caractérisant un sujet normal « moyen ». Considérons de tels sujets auxquels se rattachent individuellement les caractères biométriques que l'étude d'un groupe de sujets normaux permet de déterminer. Ce sont, par exemple, les sujets qui, pour une taille et un âge donnés, présentent les valeurs moyennes de tous les autres facteurs biométriques.

Nous avons représenté sur la figure 23 un nomogramme qui s'appuie sur les données biométriques suivantes :

1. Une statistique portant sur environ 50.000 individus [Hassing, 57], permettant de définir la valeur du poids en fixant celles de la taille et de l'âge.

2. L'équation des Du-Bois, permettant de définir la surface en partant des valeurs du poids et de la taille.

3. L'équation de Dreyer, tirée de la population examinée par Harris et Benedict, donnant la grandeur du métabolisme de base lorsqu'on connaît le poids et l'âge du sujet examiné.

Ainsi, à chaque point de ce nomogramme correspond une valeur du poids, de l'âge, de la taille, de la surface et du métabolisme de base.

Si l'on avait des statistiques fixant les valeurs moyennes de la capacité pulmonaire, du débit cardiaque, de la « température équivalente » et de la température cutanée moyenne à la « température équivalente », en fonction de l'âge et de la taille, on pourrait multiplier les couples des valeurs dont la connaissance aurait suffi pour permettre de définir le métabolisme de base d'un homme « moyen » (1). Un tel nomogramme traduirait alors une véritable « loi du métabolisme de base d'un homme « moyen » ». Puisque, pour ces sujets, il serait aussi facile de déduire le métabolisme basal de la connaissance d'un couple de variables que d'un autre, l'on ne serait pas en

(1) En vérité, même sur un sujet moyen, l'emploi des équations biométriques n'est justifié que dans la mesure où l'on cherche à déterminer les variables qui figurent à titre d'inconnues dans ces équations. On sait, en effet, que les équations de régression sont représentées par des courbes qui ne se confondent pas lorsque l'inconnue prend la place de la variable indépendante, et inversement.

Cependant, tel qu'il est, le nomogramme en question permet de définir, pour le sujet « moyen », le poids en sachant son âge et sa taille ; la surface en connaissant sa taille et son poids ; le métabolisme de base en partant des valeurs du poids et de l'âge. Autrement dit, il permet de trouver pour ce sujet « moyen » les échanges énergétiques de base en partant des valeurs, soit de l'âge et de la taille, soit de l'âge et de la surface, soit du poids et de l'âge, soit de la taille et de la surface.

mesure de dire quelles sont, parmi ces variables, celles les plus immédiatement liées à la production de l'énergie de base.

Cependant, l'homme « moyen » n'est qu'une fiction. L'interdépendance des facteurs biométriques peut être également mise en évidence sur une population hétérogène. L'analyse statistique des données recueillies sur une population suffisamment étendue et assez hétérogène permet non seulement de saisir la structure grossière des relations entre divers caractères biométriques, mais aussi d'en distinguer les facteurs dominants et les facteurs secondaires. C'est ainsi que l'étude des corrélations montre, sur un groupe de sujets normaux, que la connaissance du poids et celle de la surface, parmi les facteurs les plus accessibles au contrôle numérique, sont les plus importantes dans la prévision du métabolisme de base. La connaissance de l'âge du sujet permet d'augmenter la précision de la prévision de cette grandeur. Celle de la taille ne contribue pas d'une façon appréciable à ce pronostic, lorsque le poids et l'âge d'un sujet ont déjà permis de fixer l'ordre de grandeur de ses échanges de base (1).

(1) Une note récente de Teissier [147 bis] pourrait suggérer une opinion contraire. Dans cette note, cet auteur s'étonne d'avoir trouvé par le calcul que la « grandeur du métabolisme est proportionnelle... à la puissance 1,01 de la taille ou à la puissance 0,49 du poids, chez la femme ». Voici comment procède cet auteur.

Tout d'abord il détermine d'après les chiffres donnés par Bach, pour 3.000 étudiants et 2.000 étudiantes de Munich, une équation traduisant le poids moyen en fonction de la taille. Il trouve ainsi que le poids varie comme la puissance 2,03 de la taille. Il détermine d'autre part pour chaque sujet la valeur du métabolisme de base la plus probable en se servant de l'équation d'Harris et Benedict. Il constate ensuite que le métabolisme ainsi calculé varie chez la femme proportionnellement à la puissance 0,49 du poids. Il déduit de l'ensemble de ses constatations cette « conséquence singulière » que le métabolisme de base varie chez la femme proportionnellement à la taille.

Ce résultat (envisagé du point de vue purement numérique) doit être considéré à la lumière des faits suivants :

1. Dreyer a montré depuis 1920 [41] que le métabolisme des sujets examinés par Harris et Benedict varie proportionnellement à la racine carrée du poids.
2. Nous venons de le démontrer sur une population de gabarit très hétérogène et
3. Nous avons montré que la surface du corps chez la femme varie également proportionnellement à la racine carrée du poids si l'on se réfère aux formules de Bouchard.

Il nous semble prématuré de tirer les conclusions de l'analyse numérique et indirecte d'un groupe limité de sujets considéré par Teissier. L'étude d'« un individu normal moyen », comme celle faite par cet auteur, peut conduire à des erreurs d'interprétation. Lorsqu'on se livre à l'analyse statistique des faits individuels réels, l'on se rend compte que la taille n'est pas le facteur déterminant le métabolisme de base, même chez la femme

c) INFLUENCE RESPECTIVE DU POIDS ET DE LA SURFACE SUR
LA RÉGULATION DES ÉCHANGES. THÉORIE DE LA MASSE ACTIVE.

ROLE JOUÉ PAR LE SYSTÈME NERVEUX.

Il reste ainsi deux facteurs, que l'approximation de nos mesures ne permet pas de dissocier. Le métabolisme de base est-il plus étroitement lié au poids ou à la surface ? Cette question a été posée depuis longtemps par les physiologistes. Elle a été résolue dans ce sens que le métabolisme de base n'est certainement pas proportionnel à la masse corporelle. Cependant, l'on pourrait toujours imaginer que le poids agit sur l'appareil régulateur des échanges, en admettant que cet appareil soit sous le contrôle du système nerveux ; on pourrait admettre alors qu'il existe, entre le poids et les échanges de base, une relation qui n'est pas nécessairement linéaire.

Cependant, on ne pourrait prouver une influence régulatrice du poids, indépendante de celle de la surface, que si cette dernière était, elle-même, indépendante dans une certaine mesure de la masse corporelle. Or, sur les sujets normaux, la surface cutanée peut être déterminée avec une précision suffisante en partant de la seule valeur du poids (voir la page 84 et la fig. 21).

On aurait pu penser que la considération des sujets obèses pourrait nous permettre de dissocier ces deux facteurs. Cependant nous avons montré que, quel que soit le degré d'adiposité du sujet examiné, son métabolisme de base peut être représenté avec une bonne approximation comme étant proportionnel à la racine carrée du poids. Or, sa surface est traduite en fonction du poids par une expression analogue (« loi de la racine carrée », voir p. 86). L'étude des obèses ne nous permet donc pas de dissocier les deux facteurs envisagés, liés l'un à l'autre par une relation étroite. Faut-il en conclure que l'un de ces deux facteurs (ou tous les deux) ne présente qu'une relation purement numérique avec le métabolisme de base, relation qui ne s'observerait qu'en vertu d'une pure « coïncidence arithmétique » ?

Cette conclusion serait certainement fausse si le métabolisme de base était réglé par le système nerveux central. Dans un organisme vivant, derrière les « coïncidences arith-

métiques », se trouvent des réalités physiologiques. Ainsi le métabolisme de base pourrait se trouver *en fait* en relation constante et étroite *et* avec le poids *et* avec la surface par l'intermédiaire du système nerveux.

Le poids corporel, englobant les tissus de soutien, ceux de réserve, et la « masse protoplasmique active », est une réalité physiologique. Ainsi, par exemple, la masse corporelle totale se manifeste fonctionnellement comme génératrice d'excitations proprioceptives, auxquelles le déplacement du corps donne naissance à chaque instant ; un système de réflexes absolus et conditionnés pourrait rattacher cette masse totale à l'appareil régulateur des échanges (1).

La surface n'a pas plus de raison que le poids d'être considérée comme influençant par ses propriétés physiologiques propres (organe de la thermolyse) la grandeur du métabolisme de base. Les revêtements cutanés sont très hétérogènes dans la série animale. Nous avons vu que ce fait, joint à d'autres montrant que la surface n'intervenait pas directement dans la régulation des échanges de base, a incité certains physiologistes à ne pas s'en servir comme d'une unité de référence dans la comparaison des échanges des homéothermes. C'est pour cette raison que ces physiologistes ont eu recours à la notion de la « masse protoplasmique active » comme facteur limitant la production de l'énergie de base. Le fait fondamental que nous avons pu mettre en évidence dans notre travail, c'est que cette production est la même pour les individus de poids identique, quelle que soit la part prise par les tissus actifs dans la masse totale du corps. *La théorie de la « masse active » paraît ainsi insoutenable.*

De même, la modification de l'épaisseur du pannicule adipeux ne modifie nullement les échanges. Nous pourrions donc conclure à la lumière de ces recherches que, lorsque le poids présente comme la surface une grande hétérogénéité de structure, il peut influencer les échanges de base par sa masse brute totale. Le taux relatif de la « masse active » peut varier et « la loi de la racine carrée » reste immuable, comme le carac-

(1) Rappelons à ce propos les expériences récentes d'Olnianskaja [98], qui a pu déterminer chez un sujet au repos une augmentation réflexe conditionnée des échanges. Dans des conditions expérimentales analogues, nous avons pu, avec Marquès, observer au repos une accélération cardiaque conditionnée [85].

tère de la surface peut se modifier alors que l'on continue à trouver que les échanges lui sont proportionnels. Ce serait donc l'étendue anatomique de la surface et la valeur absolue du poids qui agiraient sur l'appareil régulateur des échanges et contribueraient ainsi à déterminer le niveau du métabolisme de base.

Cependant, le rôle joué par le système nerveux dans la régulation des échanges de base est loin d'être reconnu par tous les auteurs. Richet [104] a montré sur les chiens que les échanges respiratoires subissent, sous l'influence de l'anesthésie, une modification essentielle. Le métabolisme des animaux anesthésiés ne serait pas proportionnel à la surface, mais bien au poids. Des observations analogues ont été faites par Mayer et Nichita [90] et plus récemment par Chevillard [33]. Ce dernier auteur a pu montrer que le métabolisme de base rapporté au kilogramme d'animal est le même chez la souris, le lapin et le chien anesthésiés.

Cet ensemble d'observations paraît donc en faveur de la théorie faisant jouer au système nerveux le rôle principal dans la régulation *actuelle* des échanges de base. Malheureusement, Terroine et Melon [120] ont constaté qu'au contraire les animaux, dont la température corporelle est maintenue au niveau normal par le séjour dans un milieu convenablement choisi, obéissent à la loi des surfaces, même à l'état d'anesthésie profonde.

La question reste donc obscure et de nouvelles expériences concernant le rôle du système nerveux dans la régulation des échanges sont nécessaires. Les résultats que nous avons rapportés sur le métabolisme de base des obèses nous y incitent directement.

7^o Point de vue médical.

a) IMPORTANCE DE LA DÉTERMINATION DU MÉTABOLISME DE BASE DES OBÈSES.

Comment se présentent les résultats de notre enquête sur le métabolisme des obèses au point de vue médical ? Nous n'avons pas trouvé de preuves statistiques de l'existence de groupes distincts des obèses, pouvant être considérés,

chacun, par une tendance centrale et une distribution particulières. Nous n'avons trouvé qu'un seul sommet à la courbe de répartition des métabolismes chez ces sujets. Cette courbe se rapproche d'ailleurs de la courbe normale. C'est cette constatation qui nous a permis de considérer l'état d'obésité en lui-même, en tant que générateur du pannicule adipeux épais et en tant que perturbateur de la relation habituelle entre le poids corporel et la masse protoplasmique active. Or, si les résultats que nous avons obtenus ne nous permettent pas de dire qu'il existe des groupes d'obèses nettement caractérisés par le niveau de leurs échanges de base, pouvons-nous conclure de nos recherches qu'il n'y a pas de relation entre les facteurs se trouvant à l'origine de l'obésité et la grandeur du métabolisme de base ?

Nous avons constaté la même distribution des valeurs relatives du métabolisme de base autour de la même moyenne dans un groupe de femmes de gabarit plus ou moins normal, et dans celui de femmes extrêmement obèses ; pouvons-nous en conclure que la « *distribution des causes* », responsables dans chaque cas particulier d'une telle ou telle modification des échanges énergétiques, est également la même dans ces deux groupes de sujets examinés ?

Ces questions méritent d'être posées ; elles intéressent au plus haut degré le problème de la pathogénie de l'obésité ; il ne semble pas cependant que l'on puisse donner à ces questions une réponse décisive.

D'une façon générale, on ne peut pas tirer de la distribution des valeurs d'une variable une déduction relative à la distribution des facteurs responsables de la modification de cette variable. La même modification de cette dernière peut être due à des causes différentes. On peut imaginer que, par un effet de hasard, deux distributions différentes des facteurs *déterminants* soient à l'origine de la même distribution des facteurs *déterminés*. Toutefois, il est très suggestif de constater dans deux groupes de femmes, caractérisés chacun par un état d'adiposité très différent, la même distribution des métabolismes. Si l'on ne peut pas en déduire la similitude de la distribution des facteurs se trouvant à l'origine de la dispersion des valeurs observées (tels que légers troubles du fonctionnement des ovaires, de la thyroïde, de l'hypophyse, du foie, etc.,

pouvant influencer le métabolisme de base dans un sens ou dans un autre, en plus des facteurs traduisant l'imprécision des mesures et la variabilité des échanges d'un moment à un autre), dans les deux groupes de femmes examinées, les résultats de notre enquête montrent que l'hypothèse d'une telle similitude est loin d'être exclue.

Il ne faut pas évidemment en conclure que la considération du métabolisme de base n'est d'aucune utilité chez les obèses. Il n'est pas indifférent de connaître le niveau des échanges de base avant d'instituer un traitement de l'obésité, et on ne donnera pas, par exemple, de la thyroïdine à un obèse chez lequel les déterminations répétées du métabolisme de base montrent une augmentation de 20 p. 100. D'ailleurs, si les résultats de notre enquête sont encore sûrs dans cette région de l'échelle des modifications du métabolisme de base, il n'en est pas de même lorsqu'il s'agit des augmentations ou des diminutions du métabolisme de base qui s'expriment par des chiffres voisins de 30 p. 100 de la normale. Là, le nombre de cas dont nous disposions était trop petit pour que nous pussions affirmer l'absence d'un groupe nosologique particulier. D'ailleurs, de telles modifications se rattachent presque toujours à des affections cliniques facilement décelables.

Des résultats pratiques importants peuvent être déduits de notre enquête. Ainsi il semble que les résultats de nos recherches rendent superflu le souci de certains auteurs de choisir pour les obèses une unité de référence différente de celle employée pour les sujets de configuration normale. Un tel souci se traduit, en général, par la recommandation de se servir non pas du poids réel, mais du poids théorique, dans le calcul du métabolisme de base des sujets obèses. Or nous savons, d'après nos recherches, que l'on trouvera dans ce cas, en moyenne, chez les obèses, un déplacement uniforme des valeurs du métabolisme de base vers les chiffres plus élevés. Ce déplacement sera d'autant plus prononcé que l'écart entre la valeur théorique et réelle du poids sera lui-même plus important.

Il y a pourtant un point de vue duquel cette manière de représenter les choses pourrait être tout de même suggestive. Si l'on voulait attacher au poids théorique une quantité constante de « masse protoplasmique active », cette façon de procéder pourrait permettre de nous rendre compte de la

modification du « facteur intensif » qui s'attache à chaque unité de cette masse. On pourrait alors dire que, chez la plupart des obèses, ce facteur intensif est bien plus élevé que chez les sujets normaux. C'est là un aspect curieux du problème et pourtant il n'exprime que les faits observés.

b) CHOIX DES VALEURS STANDARD.

Reste à dire quelques mots concernant les valeurs standard utilisées. Nous avons vu que l'équation de Dreyer s'applique le mieux à nos sujets de configuration très différente. Ceci aussi bien en ce qui concerne les moyennes du métabolisme de base que les distributions des valeurs individuelles. Les données de Harris et Benedict sont également très voisines de celles que nous avons constatées. Malheureusement, ces auteurs ont introduit la taille dans leur équation biométrique et nous avons montré dans ce travail que la présence de ce facteur n'y est nullement justifiée. De plus, divers auteurs ont vérifié l'équation de Dreyer sur les hommes et ont trouvé qu'elle s'accorde également le mieux avec les données expérimentales. Pour toutes ces raisons nous croyons que cette équation doit être utilisée de préférence dans l'évaluation des valeurs standard du métabolisme de base. Dans l'« appendice », nous présentons un nomogramme de ces valeurs standard déterminées d'après Dreyer. En ce qui concerne les femmes, pour ceux qui veulent rapporter le métabolisme de base à l'unité de surface nous pouvons conseiller de se servir des standards que nous avons établis à la page 87. La surface pourrait être calculée soit d'après l'abaque de Faillie, soit d'après le graphique simplifié que nous donnons à la fin de cet ouvrage.

NOTES ADDITIONNELLES

I. Notions élémentaires des indices de corrélation.

a) COURBES DES FRÉQUENCES. — Soit une grandeur qui peut prendre des valeurs différentes sous la seule influence du hasard. Dans un grand nombre d'observations, chacune de ces valeurs sera constatée avec une fréquence différente. Certaines d'entre elles se montreront dans un grand nombre de cas. Certaines autres ne se présenteront que de temps en temps.

Ainsi, il est possible de représenter par une courbe les fréquences de répétition de ces valeurs. Cette courbe porte le nom de « courbe des fréquences ».

Si la grandeur en question varie uniquement sous l'influence des causes fortuites et qu'un certain nombre de conditions concernant l'homogénéité des observations (sur les détails desquelles nous ne pouvons pas nous arrêter ici) se trouvent remplies, une telle courbe (dite de Gauss) aura l'aspect de celle représentée sur la figure 24, le nombre d'observations faites étant supposé infini.

Donc, si sur l'axe des abscisses nous considérons les valeurs croissantes de la grandeur envisagée et sur l'axe des ordonnées la fréquence de leur répétition, la courbe de hasard ou celle de Gauss (courbe dite « normale ») se présente sous une forme définie.

Une telle courbe montre qu'il existe une valeur « centrale » de la variable envisagée, qui se rencontre avec la plus grande fréquence. Si nous faisons la moyenne arithmétique de toutes les valeurs observées multipliées par les fréquences respectives de leur répétition, cette moyenne serait précisément la valeur centrale indiquée. Autour de cette *tendance centrale* se dispersent toutes les autres valeurs, d'une façon parfaitement symétrique.

Une courbe semblable peut être retrouvée sur n'importe quel phénomène, pourvu que les variations de sa grandeur soient imputables à des causes fortuites. Ainsi, par exemple, le nombre de piétons que l'on rencontre sur un trajet limité d'une rue de Paris, à une heure et à

une saison déterminées, pourrait être représenté par une telle courbe. Ceci si l'on pouvait faire une infinité de déterminations quotidiennes, sans que les perturbations d'ordre technique ou social interviennent d'une année à l'autre, venant ainsi fausser la régularité des phénomènes observés (1).

Dans cet exemple, on mettrait en abscisses le nombre de piétons rencontrés, et en ordonnées la fréquence avec laquelle chacun de ces nombres a été trouvé dans la totalité des observations.

Supposons maintenant que, dans l'ensemble des observations qui nous ont servi à construire cette « courbe des fréquences », nous rete-

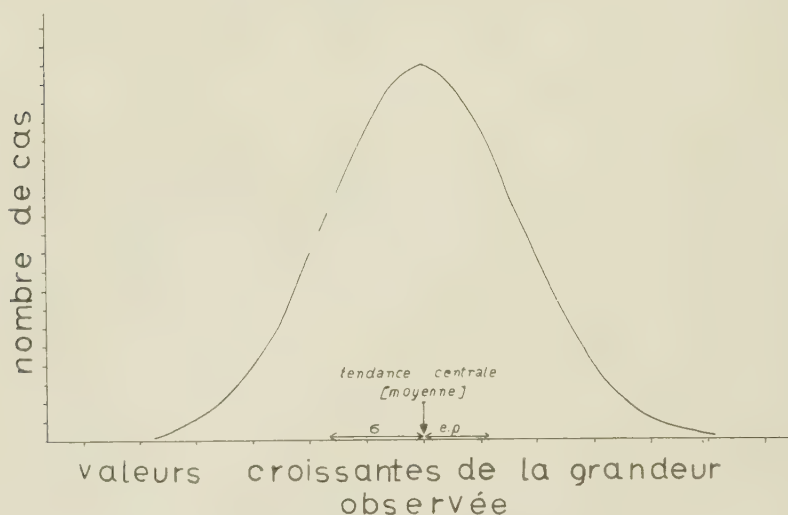


FIG. 24. — Courbe de Gauss.

nions seulement celles qui ont été faites pendant les jours de pluie. Comment se présentera alors une nouvelle courbe des fréquences ?

D'abord, le nombre total d'observations sera naturellement plus réduit dans ce cas particulier que dans le cas général envisagé précédemment. Ensuite, le nombre de piétons le plus fréquemment observé (ou, ce qui revient au même, la valeur de la moyenne se rattachant à notre distribution) sera pendant les jours de pluie également inférieur à celui trouvé pour l'ensemble des observations faites sans tenir compte des conditions météorologiques. Enfin, la dispersion des valeurs observée autour de la tendance centrale serait moins étendue que dans ce dernier cas. En effet, par un temps pluvieux, on ne rencontrera pas ou on ne rencontrera que plus rarement certaines personnes que l'on voit dans la

(1) Il existe encore d'autres conditions qui doivent se trouver remplies pour que la courbe en question ait la forme de celle de Gauss. Nous omettons volontairement le rappel de ces conditions qui nous entraînerait dans des développements trop longs.

rue par le beau temps. Or, la courbe des fréquences construite en utilisant l'ensemble des observations englobe aussi bien celles faites par un temps pluvieux que par le beau temps.

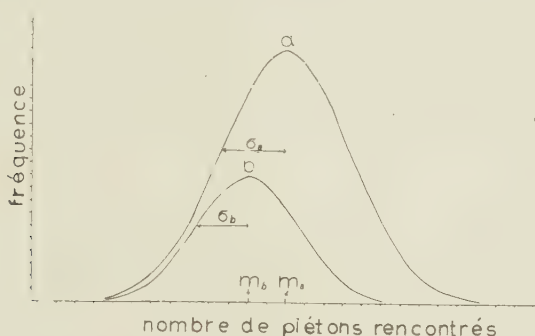


FIG. 25. — Cette figure illustre l'exemple donné à la page 120-121. La courbe *a* se rapporte à la totalité des observations. La courbe *b* correspond aux observations faites pendant les jours de pluie. Les moyennes (m_a et m_b) et les indices de dispersion (σ_a et σ_b) sont également représentés sur cette figure.

La figure 25 montre deux courbes de fréquence dont l'une (*a*) présente une dispersion des valeurs plus étendue que l'autre (*b*). Ces deux courbes peuvent illustrer l'exemple que nous venons de donner.

On voit, par conséquent, que ces deux courbes se différencient l'une de l'autre par : 1^o le nombre total d'observations; 2^o la moyenne ou la « tendance centrale » et 3^o l'étendue de la dispersion des valeurs individuelles autour de cette « tendance centrale ».

La moyenne ne suffit donc pas pour définir une distribution des valeurs individuelles. La figure 26 montre par exemple deux courbes de Gauss, caractérisées par le même nombre d'observations et par la même moyenne arithmétique. La seule différence réside dans l'étendue de la dispersion des valeurs individuelles autour de la tendance centrale.

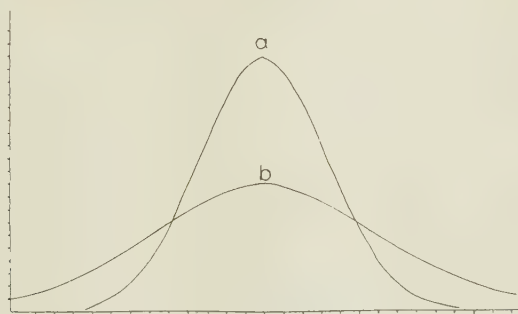


FIG. 26. — Cette figure montre deux courbes de Gauss caractérisées par le même nombre d'observations et par la même moyenne arithmétique. La courbe *a* est caractérisée par un indice de dispersion plus petit que la courbe *b*.

Pour caractériser cette étendue, on se sert des *indices de dispersion*. On peut se rendre compte intuitivement que ces indices dérivent des valeurs des écarts constatés par rapport à la moyenne arithmétique. On pourrait se servir par exemple d'un écart moyen. Cependant, on fait appel le plus souvent en statistique, non pas à l'écart moyen, mais à l'*écart quadratique moyen* que l'on désigne par la lettre grecque σ .

Cet écart s'obtient en faisant la somme des carrés des écarts, en déterminant leur moyenne arithmétique et en extrayant la racine carrée de cette moyenne. Il s'exprime par conséquent de la manière suivante :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum x^2}{N}} \quad [88]$$

où x est l'écart entre chaque valeur individuelle observée et la moyenne arithmétique.

Le carré du σ (σ^2) est par conséquent la moyenne arithmétique des carrés des écarts. Ce dernier indice de dispersion est très important à connaître et nous ferons très souvent appel à lui. Il porte le nom de *variance*.

Ainsi, plus le σ est grand, plus la dispersion des valeurs individuelles autour de la tendance centrale est étendue. Sur la figure 26, la courbe (b) est par conséquent caractérisée par un σ plus élevé que la courbe (a).

Les courbes rappelant celles de Gauss ont été retrouvées également sur des phénomènes où il est pourtant difficile de parler uniquement de causes fortuites. La présence d'un grand nombre de causes qui influent sur un phénomène donné, faisant varier sa valeur tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, suffit dans certains cas pour qu'une telle courbe puisse être observée. Dans d'autres cas, la courbe des fréquences obtenue se rapproche suffisamment de la courbe de Gauss pour pouvoir être traitée comme telle. Il en est ainsi par exemple des valeurs du métabolisme de base. C'est cela qui facilite d'ailleurs l'étude de certains problèmes soulevés par les recherches concernant les échanges énergétiques.

b) NOTION DE LA CORRÉLATION. — Si l'on est en possession d'un grand nombre d'observations concernant par exemple le métabolisme de base des adultes du même sexe, mais d'âge, de poids et de taille variés, on peut ranger les valeurs constatées suivant une courbe des fréquences. Si cette courbe est celle de Gauss, elle sera entièrement définie par la valeur de la moyenne et celle de l'écart quadratique moyen (σ) ou, ce qui revient au même, par celle de la variance (σ^2).

Si maintenant on choisit dans la totalité des observations celles qui concernent les individus caractérisés par une certaine valeur d'un facteur biométrique déterminé, on pourra construire une autre courbe des fréquences. On pourra d'ailleurs en construire autant qu'il y aura de groupes d'individus, caractérisés chacun par une valeur particulière du facteur en question.

Deux cas peuvent alors se présenter :

Ou bien chacun de ces groupes donnera lieu à une courbe caractérisée par la même moyenne et le même indice de dispersion que ceux qui se rattachent à la courbe totale ;

Ou bien la sélection de tels groupes permettra d'obtenir pour chacun d'eux une courbe caractérisée par une moyenne particulière et par un indice de dispersion plus petit que celui se rattachant à la courbe qui se rapporte au groupe total (ou, comme on dit aussi, à la « population » totale).

Le premier cas s'observerait s'il n'existait aucune relation entre la grandeur du métabolisme et celle du facteur envisagé. Alors, le fait d'avoir sélectionné un groupe de sujets présentant une certaine caractéristique biométrique n'aurait d'autre effet que celui d'un choix fait au hasard dans la totalité des observations d'un certain nombre de cas individuels. Il est facile de comprendre que, dans cette dernière hypothèse, la moyenne et l'indice de dispersion de la « courbe de hasard » ne subiraient aucun changement.

Par contre, le deuxième cas se serait observé s'il y avait eu une certaine liaison entre le métabolisme de base et le facteur en question. Tout comme la pluie nous permet d'éliminer un certain nombre de piétons rencontrés dans la rue par le beau temps, la connaissance de ce facteur permettrait d'écarter certaines valeurs extrêmes du métabolisme de base. (Fig. 25.)

Supposons que le facteur en question soit le poids corporel. Nous savons qu'il existe une corrélation entre le métabolisme de base et le poids du corps. Nous pouvons par conséquent prédire que la courbe des fréquences, représentant la distribution des valeurs du métabolisme de base caractérisant un groupe d'individus de poids constant, présentera un indice de dispersion plus petit que celui se rattachant à la population totale. *En fixant le poids, on fixe en même temps un certain ordre de grandeur des échanges de base et une certaine étendue réduite de la marge de la variation de cette grandeur.*

Il arrive même que, plus la liaison entre deux variables est étroite, plus grande est la différence entre, d'une part, l'indice de dispersion de l'une de ces variables rattaché à la population totale, et, d'autre part, l'indice de dispersion de la même variable trouvé pour chaque groupe sélectionné d'après la valeur de la deuxième variable. Dès lors, on trouve ici une méthode pour mesurer la force de la liaison entre les deux variables en question.

Soit σ_1^2 la variance de la distribution primitive des valeurs du métabolisme de base et σ_2^2 , celle des distributions réduites grâce à la sélection des groupes de sujets de même poids.

Alors $\left(\frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2} \right)$ représentera la valeur relative de la variance réduite par

rapport à la variance primitive. Si, maintenant, on prend σ_1^2 pour unité, l'expression suivante :

$$1 - \left(\frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2} \right) \quad [89]$$

représentera la fraction dont il faut diminuer la variance primitive (prise pour unité) pour obtenir la valeur relative de la variance réduite.

Plus le quotient $\left(\frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2} \right)$ est petit, plus la variance réduite est petite par rapport à la variance primitive. D'autre part, nous avons vu que, plus ce quotient est petit, plus la liaison entre deux variables envisagées est étroite. Or nous voyons que, plus cette fraction est petite, plus l'expression 89 est élevée, tendant vers l'unité.

L'expression 89 peut donc servir de mesure de corrélation entre deux variables quelconques. S'il n'existe aucune corrélation entre ces variables, $\sigma_2^2 = \sigma_1^2$, et par conséquent l'expression 89 s'annule. Si la corrélation est parfaite, σ_2^2 sera infiniment petit par rapport à σ_1^2 , et l'expression 89 tendra vers l'unité.

C'est précisément en évaluant le degré de réduction de la variance qui se rattache à la distribution initiale des valeurs du métabolisme de base, réduction opérée par la sélection des groupes de sujets présentant le même caractère biométrique (par exemple le même poids), que nous pouvons mesurer la force de la corrélation entre le métabolisme de base et ce caractère.

On appelle rapport de corrélation (désigné par la lettre grecque η) la racine carrée de l'expression 89. Ainsi, il n'y a pas de lien de simple proportionnalité entre ce rapport (η) et la force de corrélation.

A la place de η , on fait usage plus souvent d'un coefficient de corrélation que l'on désigne d'habitude par la lettre r . Ce coefficient, qui a la même signification que celle de η , ne doit être employé que lorsque la liaison qu'il permet d'évaluer entre les deux grandeurs est approximativement linéaire. Or, on est très souvent fondé à faire une telle hypothèse de linéarité. Dans ce cas, le calcul des indices de corrélation est grandement facilité.

Il existe d'autre part des méthodes statistiques qui permettent de calculer dans ce cas, en se fondant sur la valeur de r et celles des σ , les constantes de l'équation de prévision ou, comme on l'appelle, *équation de régression*. Cette équation de prévision permet de prévoir la valeur la plus probable d'une des variables lorsque celle de l'autre ou celles des autres sont fixées.

On voit, par conséquent, que c'est précisément parce que la considération de l'un ou de plusieurs facteurs nous permet d'isoler les groupes d'individus qui donnent lieu chacun à une distribution des valeurs du métabolisme de base, caractérisée par un écart quadratique moyen plus petit que celui qui se rattache à la distribution trouvée sur la population totale, que la prévision de la grandeur des échanges se trouve facilitée.

Il existe des formules qui permettent de calculer rapidement les coefficients de corrélation et les constantes des équations de régression :

Nous ne pouvons naturellement pas en discuter ici. Il est plus important de nous familiariser avec la notion de la corrélation partielle.

Notion de corrélation partielle. Ainsi la racine carrée de l'expression $1 - \left(\frac{\sigma_i^2}{\sigma_1^2} \right)$ porte le nom, soit de rapport, soit de coefficient de corrélation, selon les cas. Inversement, le carré du coefficient de corrélation représente la fraction dont il faut diminuer la variance primitive (prise pour unité) afin d'obtenir la valeur relative de la variance réduite.

Si, par exemple, le coefficient de corrélation entre le métabolisme de base et un facteur biométrique quelconque (le poids, pour fixer les idées) était de 0,70, la réduction de la variance primitive serait de $(0,70)^2 = 0,49$. La variance primitive étant prise pour unité, la réduction serait de 49 p. 100. Autrement dit, la variance *réduite* ou *résiduelle* serait de 51 p. 100 de la variance primitive. On peut se demander si la considération d'un autre facteur (l'âge, par exemple) ne permettrait pas une réduction nouvelle de la variance primitive. En d'autres termes, on peut se demander si, dans un groupe de sujets de poids égal, en considérant des sous-groupes comprenant des individus de même âge, la variance résiduelle caractérisant le groupe entier subira ou ne subira pas une réduction. L'analyse statistique permet de calculer ce qu'on appelle : coefficient de corrélation partielle entre le métabolisme de base et l'âge à poids constant. Sa détermination comporte la solution du problème posé.

Soit, en effet, 0,50 la valeur de ce coefficient que l'on désigne de la façon suivante r_{ma} . Cela signifie que la réduction de la variance attachée à chaque groupe de sujets de même poids, en considérant à l'intérieur de ces groupes de sujets des sous-groupes d'individus de même âge, est de $(0,50)^2 = 0,25$. Elle est donc de 25 p. 100, la variance sur laquelle a été faite cette opération de réduction étant prise pour unité. Si l'on veut évaluer la réduction opérée ainsi sur la variance *primitive* attachée à la *population totale*, il faut faire le calcul suivant. La nouvelle variance résiduelle obtenue après avoir sélectionné des groupes de sujets de même poids et des sous-groupes d'individus de même âge est égale à $1 - 0,25 = 0,75$, la variance caractérisant chaque groupe de sujets de poids fixe étant prise pour unité. Cependant, dans l'exemple discuté plus haut, la variance de la distribution des valeurs du métabolisme de base dans un groupe de sujets de poids fixe, variance que nous venons de prendre pour unité, ne représente que 51 p. 100 de la variance *primitive*, considérée avant que les sujets aient été classés d'après leur poids. La variance résiduelle obtenue après la double réduction et rapportée à la variance primitive (cette fois-ci celle-ci étant prise pour unité) est égale par conséquent à :

$$0,75 \times 0,51 = 0,38.$$

Ainsi, après la première réduction, la variance résiduelle était de 51 p. 100 de la variance primitive. Après la seconde réduction, elle est devenue de 38 p. 100 de la même variance. Par conséquent,

le fait de considérer, en plus du poids, l'âge des sujets nous a permis de faire une réduction supplémentaire de la variance primitive de $51 - 38 = 13$ p. 100.

On voit donc que l'expression numérique d'un coefficient de corrélation partielle ne permet pas de nous rendre compte d'une façon directe et immé-

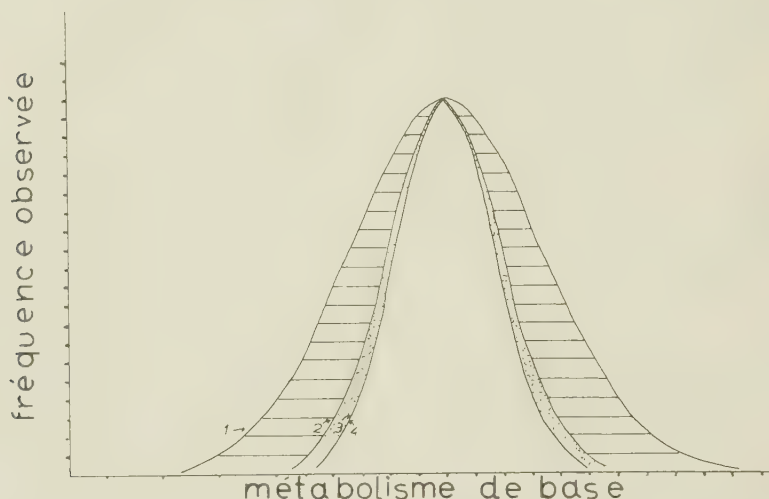


FIG. 27 — Sur cette figure, la courbe 1 représente la distribution des valeurs du métabolisme de base dans un groupe hétérogène. La courbe 2 représente la distribution des mêmes valeurs dans un groupe de sujets de même poids, le coefficient de corrélation entre le métabolisme de base et le poids étant de 0,80. La courbe 3 représente la distribution des mêmes valeurs dans un groupe de sujets du même poids et du même âge lorsque le coefficient de corrélation partielle entre le métabolisme de base et l'âge à poids constant est de 0,50. On voit que les réductions successives des indices de dispersion sont visualisées par les régions comprises entre les courbes 1 et 2 et 2 et 3. Si maintenant on voulait mettre en évidence la réduction nouvelle de la distribution primitive, opérée par la sélection des sujets de même poids, de même âge et, de plus, de même taille, le coefficient de corrélation partielle entre le métabolisme de base et la taille à poids et âge constants étant de 0,30, cette réduction serait représentée par l'épaisseur du trait 3-4. Elle serait par conséquent insignifiante. Les valeurs de corrélation choisies pour cet exemple sont approximativement les mêmes que celles que Harris et Benedict ont trouvées sur les hommes. Pour rendre cette représentation graphique aussi claire que possible, nous avons attribué aux moyennes de toutes les distributions représentées sur cette figure la même ordonnée.

diée de l'importance d'une réduction nouvelle, opérée sur la variance primitive grâce à la considération d'un facteur supplémentaire. Pour chiffrer cette réduction nouvelle, il faut faire des calculs complémentaires.

On peut vérifier facilement qu'à valeur constante du coefficient de corrélation partielle, plus le coefficient simple, calculé avant d'envisager la corrélation partielle, est élevé, moins la réduction nouvelle introduite par l'intervention d'un facteur supplémentaire est sensible.

Après avoir considéré des coefficients de corrélation partielle de premier ordre, l'on peut calculer des coefficients de corrélation partielle

de second ordre. Par exemple : le coefficient de corrélation partielle entre le métabolisme et la taille à poids et âge constants. Ce coefficient est désigné sous la forme suivante :

$$r_{a'ml}$$

La figure 27 illustre l'exemple d'un tel calcul.

Disons, pour terminer, qu'un coefficient de corrélation peut être positif ou négatif. Il est positif lorsque l'une des deux variables envisagées croît avec l'autre. Il est négatif lorsque l'une d'elles croît en même temps que l'autre décroît.

II. Notion élémentaire de l' « erreur probable ».

On voit que chaque coefficient de corrélation est escorté d'un chiffre, précédé lui-même du signe $\pm$. Ce chiffre porte le nom d'*erreur probable*. Il importe d'avoir bien présente à l'esprit la signification de ce terme.

Nous avons parlé jusqu'à présent des « courbes des fréquences ». En fait, de telles courbes représentent des fonctions *continues* permettant de lier les valeurs observées aux fréquences de leurs répétitions dans une population donnée. Mais, du fait de cette continuité, la population examinée doit être infiniment nombreuse pour que l'on puisse trouver la fréquence avec laquelle se rencontre n'importe quelle valeur intermédiaire représentée sur l'axe des abscisses. En réalité, nous ne pouvons naturellement pas avoir à notre disposition une telle documentation. Voici comment se pose alors le problème réel.

Nous pouvons faire des déterminations sur un certain nombre relativement petit d'individus. Nous admettons que cet « échantillon » « représente », en quelque sorte, la population totale. Nous essayerons alors d'induire les résultats trouvés sur cet « échantillon » sur la population entière.

Puisque nous opérons sur des « échantillons » réduits, tous les indices que nous en tirons, tels que, par exemple, la moyenne arithmétique ou l'écart quadratique moyen, sont soumis aux lois de hasard. En d'autres termes, si nous avions recommencé à faire nos mesures sur un autre « échantillon », nous aurions trouvé les valeurs de ces indices présentant certains écarts par rapport à ceux déterminés sur le premier.

On démontre que les indices tirés d'une infinité d'échantillons auraient permis de décrire une courbe normale (courbe de Gauss). Ainsi, par exemple, en mettant sur l'axe des abscisses les différentes valeurs des moyennes, trouvées chacune dans l'un des « échantillons » étudiés et, en ordonnées, les fréquences de répétition de ces moyennes dans une infinité d'« échantillons », on pourrait obtenir une courbe de Gauss, caractérisée à son tour par une certaine moyenne vraie, « idéale » et une certaine valeur de l'indice de dispersion.

On démontre que ce dernier indice est approximativement égal à

l'indice de dispersion des valeurs individuelles d'un échantillon particulier, divisé par la racine carrée du nombre de mesures effectuées. Soit :

$$\sigma_{\text{moy}} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}. \quad [90]$$

En multipliant σ_{moy} par 0,6745, on obtient un nouvel indice, qui porte justement le nom d'*erreur probable* (*e. p.*) (Fig. 24.)

$$e. p. \text{ moy} = 0,6745 \sigma_{\text{moy}} \quad [91]$$

Et voici sa signification pratique : dire qu'une moyenne ou un indice de dispersion présente une erreur probable de tant, c'est délimiter une marge de valeurs, dans laquelle une moyenne vraie ou un indice de dispersion vrai (ayant été déduits d'une infinité de mesures) pourraient être représentés sur un très grand nombre d'échantillons une fois sur deux. Cette marge est justement égale à l'erreur probable (comptée en plus et en moins) (1). En d'autres termes, l'erreur probable est celle que l'on risque de dépasser dans 50 p. 100 des échantillons examinés. On admet, d'une façon générale, qu'il n'y a pas pratiquement de chance à ce que l'un des échantillons représentant une population « idéale » puisse donner lieu à une moyenne ou à un indice de dispersion s'écartant des indices « vrais » de plus de 4 fois leur erreur probable.

En fait, le rapport d'une valeur à son erreur probable permet de traduire en termes de probabilité le degré de confiance que mérite cette valeur.

Soit M_1 et M_2 deux moyennes, tirées chacune d'une distribution particulière de la variable examinée et admettons que M_1 est différente de M_2 . Dire que la différence qui sépare les deux moyennes est significative, c'est dire que les deux « échantillons » dont elles sont tirées ne « représentent » pas la même distribution idéale. Or, le rapport de la différence entre ces deux valeurs moyennes à l'erreur probable se rattachant à cette différence permet de préciser dans quelle mesure celle-ci est significative. On démontre qu'une différence égale à son erreur probable a moins de 500 chances sur 1.000 d'être atteinte ou dépassée en vertu d'un simple hasard, sans qu'il existe une différence vraie entre les valeurs étudiées. Si la différence est égale à deux erreurs probables, elle pourrait être dépassée par l'effet du pur hasard dans 177 cas sur 1.000. Si elle est égale à trois erreurs probables, il y a 43 chances sur 1.000 de trouver par l'effet du pur hasard une telle différence. Enfin, il n'y a environ que 7 chances sur 1.000 pour trouver une différence supérieure à 4 fois son erreur probable du fait d'un hasard pur.

Au même titre que ces indices, le coefficient de corrélation trouvé sur un échantillon donné n'a qu'une valeur approchée. L'on peut alors calculer dans chaque cas la valeur de son erreur probable dont la signification a été précisée ci-dessus.

(1) Ceci dans le cas des distributions normales.

Notons enfin que les valeurs évaluées par les équations de régression sont également entachées d'erreurs probables. Soit, pour fixer les idées, une équation de régression représentant le métabolisme de base en fonction du poids. L'erreur probable du métabolisme calculé d'après cette équation sera d'autant plus petite par rapport à celle qui se rattache à la valeur moyenne des échanges de base calculée pour la population totale sans distinction de poids, que le coefficient de corrélation entre le poids et les échanges de base sera lui-même plus élevé.

En effet, d'après la signification de l'expression 89 (p. 124) (1)

$$\frac{\sigma_{(M_p)}^2}{\sigma_{(M)}^2} = 1 - r_{M_p}^2 \quad [92]$$

on peut écrire :

$$\frac{\sigma_{(M_p)}}{\sigma_{(M)}} = \sqrt{1 - r_{M_p}^2} \quad [93]$$

et de même (étant donné que l'erreur probable est proportionnelle à l'indice de dispersion (σ)) :

$$\frac{e.p. (M_p)}{e.p. (M)} = \sqrt{1 - r_{M_p}^2} \quad [94]$$

Dans ces équations, $\sigma_{(M_p)}$ et $e.p. (M_p)$ sont respectivement : l'indice de dispersion des valeurs des métabolismes de base des individus de poids identique et l'erreur probable de la moyenne de ces valeurs. Le $\sigma_{(M)}$ et l' $e.p. (M_p)$ sont respectivement l'indice de dispersion des valeurs des métabolismes de base de tous les sujets sans distinction de poids et l'erreur probable de la moyenne de ces valeurs ; r_{M_p} est le coefficient de corrélation entre le poids et le métabolisme de base.

III. Courbes des fréquences à plusieurs sommets.

Nous avons envisagé jusqu'à présent des courbes de fréquence présentant un seul sommet, une seule tendance centrale. On conçoit facilement que dans le cas où il se produit un mélange de deux ou de plusieurs distributions, dont chacune peut être caractérisée par une tendance centrale et un indice de dispersion qui lui sont propres, la courbe totale présentera deux ou plusieurs sommets ; ceci à condition que le nombre d'observations soit suffisamment élevé et les moyennes particulières nettement distinctes.

(1) Rappelons que :

$$r_{M_p}^2 = 1 - \left(\frac{\sigma_{M_p}^2}{\sigma_M^2} \right) \quad [95]$$

IV. Histogramme.

Nous voyons que les distributions des différents facteurs biométriques représentés sur les graphiques 1-4 sont figurés sous forme de polygones et non pas de courbes des fréquences. Nous aurons encore recours à ce genre de représentation dans la suite de notre exposé, lorsque nous nous occuperons de la distribution des valeurs du métabolisme de base. Ce mode de représentation est rendu nécessaire par l'impossibilité d'avoir un nombre d'observations suffisamment élevé pour figurer les distributions par des courbes continues.

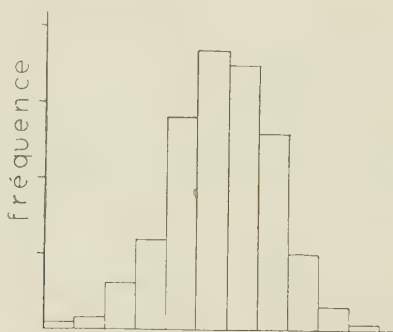


FIG. 28. — Exemple d'un histogramme. La base de chacun de ces rectangles représente un « intervalle de classe ».

Ainsi, ne pouvant pas représenter sur un « échantillon » réduit des lois des fréquences continues, nous procédons de la façon suivante. Au lieu de tenir compte de chaque valeur particulière d'un facteur déterminé, nous en réunissons plusieurs dans un même groupe, caractérisé par une certaine valeur centrale, ainsi que par certaines valeurs extrêmes. Nous appellerons l'étendue de la portion de l'échelle caractérisant chacun de ces groupes : « intervalle de classe ». Si, maintenant, nous voulions représenter la loi des fréquences, nous marquerions sur un graphique, en ordonnées, le nombre de fois que l'on observe la valeur du facteur envisagé comprise entre les limites particulières de l'intervalle de classe, figurées sur l'axe des abscisses. Nous obtiendrions ainsi ce que l'on appelle un histogramme. (Voir fig. 28.)

V. Ogives de Galton.

Nous avons parlé jusqu'à présent des courbes ou des polygones des fréquences. D'après ce mode de représentation d'une distribution, on met en abscisses des valeurs ou des groupes de valeurs de la variable étudiée et, en ordonnées, la fréquence de leur répétition. Supposons

qu'en envisageant des groupes, caractérisés par des valeurs croissantes de cette variable, indiquées symboliquement par a, b, c, d, e , et f où $a < b < c < d < e < f$, nous trouvons les fréquences de répétition respectivement pour les intervalles de classe $a-b, b-c, c-d, d-e, e-f$, de 2, 4, 8, 4, et 2 (fig. 29, A).

Tout en gardant la même échelle sur l'axe des abscisses, mettons en ordonnées les fréquences avec lesquelles s'observent les valeurs de la variable en question, telles qu'elles ne dépassent pas les valeurs indiquées par l'abscisse correspondante. Ce sont respectivement, pour les abscisses b, c, d, e et f : 2, 6, 14, 18 et 20. On obtient ainsi une nouvelle courbe représentée sur la figure 29, B. On voit qu'au lieu d'envisager, par

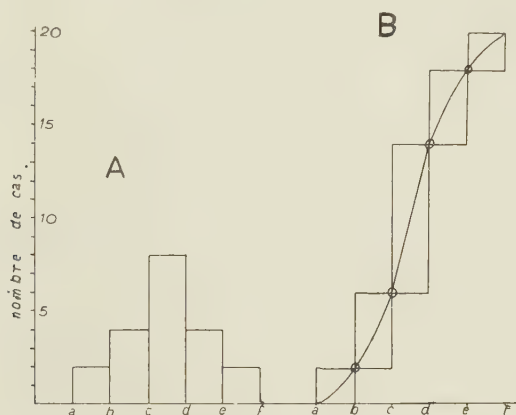


FIG. 29. — Voir l'explication dans le texte.

exemple, les fréquences s'attachant à chaque groupe de valeurs du métabolisme de base, on peut considérer les fréquences des métabolismes, dont les valeurs sont inférieures à un chiffre donné. Autrement dit, au lieu de considérer la courbe des fréquences, on peut envisager son intégrale, que l'on appelle *ogive de Galton*. Ainsi, une distribution gaussienne peut être représentée sous forme d'une ogive de Galton, comme celles figurées à plusieurs reprises dans le texte (fig. 6 et 7). Dans ce cas, comme la courbe normale, l'ogive de Galton est déterminée dans tous ces points lorsqu'on connaît ses deux paramètres : la moyenne arithmétique et l'écart quadratique moyen (σ).

APPENDICE

Description de quelques nomogrammes permettant le calcul rapide de la valeur du métabolisme.

1° *Un nomogramme pour le calcul rapide de l'oxygène et du quotient respiratoire dans la détermination du métabolisme.*

Pour calculer l'oxygène total consommé par un sujet et pour déterminer la valeur du quotient respiratoire, on est astreint à de nombreux calculs basés sur les considérations que voici :

Le volume d'air expiré n'est pas toujours égal à celui d'air inspiré. Dans la plupart des cas, il lui est inférieur. En effet, la quantité de CO^2 exhalé ne compense pas, en général, celle de O^2 consommé. Autrement dit, le rapport de ces deux quantités, le quotient respiratoire, est en général inférieur à l'unité. Dans certains cas, notamment après un travail physique important, ce quotient peut devenir, au contraire, supérieur à l'unité. Or, pour connaître la quantité de O^2 consommé, il faut déterminer : les volumes d'air inspiré et expiré et les concentrations de l'oxygène trouvées dans ces mélanges de gaz. Le volume d'air expiré est déterminé généralement à l'aide d'un spiromètre ; le taux d'oxygène dans l'air inspiré est connu : le sujet inspire, en pratique, l'air atmosphérique ; le pourcentage de ce gaz dans l'air expiré est déterminé par analyse. Il reste, par conséquent, à déterminer le volume d'air inspiré.

Pour déterminer ce volume, il convient de se rappeler que parmi les trois constituants de l'air expiré — oxygène, gaz carbonique et azote — seul ce dernier présente le même volume total que celui qu'il occupait dans l'air inspiré. Puisque les volumes d'air inspiré et expiré ne sont pas les mêmes, alors que celui de l'azote reste le même dans les deux cas, les concentrations de ce gaz ne seront pas les mêmes dans l'air inspiré et dans l'air expiré. Notamment, les quantités d'air inspiré et expiré

seront inversement proportionnelles à leurs concentrations en azote. De sorte que, l'on peut écrire :

$$V_i = V_e \times \frac{N_e^3\%}{N_i^3\%} \quad [96]$$

où V_i = volume d'air inspiré ; V_e = celui d'air expiré ; $N_i^3\%$ et $N_e^3\%$ = leurs concentrations en azote.

Connaissant le volume d'air inspiré, il est facile de calculer la quantité totale d'oxygène qu'il contient. Soit 20,9 le pourcentage de l'oxygène dans l'air inspiré (1). Nous pouvons écrire alors :

$$O_i^2 = \frac{V_e}{100} \times \frac{N_e^3\%}{N_i^3\%} 20,9 \quad [97]$$

où O_i^2 = quantité d'oxygène inspiré en cm^3 et V_e = volume d'air expiré en cm^3 .

D'autre part, on peut calculer la quantité d'oxygène contenu dans l'air expiré.

$$O_e^2 = \frac{V_e}{100} \times O_e^3\% \quad [98]$$

où O_e^2 = quantité d'oxygène expiré ; $O_e^3\%$ = sa concentration dans l'air expiré, tous les volumes étant exprimés comme précédemment en cm^3 .

Dès lors, il suffit de déduire [98] de [97] pour obtenir la quantité d'oxygène consommé (O_c^3) :

$$O_c^2 = \frac{V_e}{100} \left(\frac{N_e^3\%}{N_i^3\%} 20,9 - O_e^3\% \right) \quad [99]$$

L'expression qui figure entre parenthèses est la quantité d'oxygène consommé par un décilitre d'air expiré. Soit X cette quantité. On voit qu'il suffit de la multiplier par le volume d'air expiré pour connaître celle d'oxygène total consommé. Tel est le raisonnement classique qui permet de faire le calcul indiqué par l'expression 99. Ce calcul est assez long, d'autant plus que la formule 99 ne contient pas des valeurs directement données par l'expérience. On sait en effet que l'analyse des gaz, pratiquée à l'aide d'un eudiomètre de Laulanié, par exemple, fournit deux chiffres expérimentaux : concentration du gaz carbonique dans l'air expiré ($\text{CO}_e^1\%$) et la somme des concentrations du gaz

(1) Nous avons accepté la composition suivante de l'air atmosphérique :

$$\begin{aligned} O_i^2\% &= 20,9 \\ \text{CO}_i^2\% &= \text{néant} \\ N_i^2\% &= 79,1 \end{aligned}$$

Ces valeurs ne sont qu'approchées. Nous croyons que, dans la plupart des cas, c'est une approximation satisfaisante. On pourra toujours d'ailleurs modifier nos équations pour s'assurer d'une approximation meilleure, si d'autres conditions expérimentales le permettent.

carbonique et de l'oxygène dans cet air ($\text{CO}_2\% + \text{O}_2\%$). Pour déterminer la concentration de l'oxygène et de l'azote dans l'air expiré, il faut donc faire encore deux calculs supplémentaires. Pour déterminer le quotient respiratoire, il faut en faire un troisième.

Nous n'ignorons pas qu'il existe des tables et des abaques qui facilitent ces calculs. Cependant, 1° ils ne permettent pas d'en éviter tous, et 2° ils ne donnent des quotients respiratoires qu'entre certaines limites trop étroites quand il s'agit des recherches de physiologie du travail, par exemple. Le meilleur d'entre eux, c'est le nomogramme proposé par Dill et Fölling [40 bis]. Nous en avons proposé un autre encore plus commode [84 bis]. Il permet en effet de supprimer tous les calculs.

Nous ne croyons pas que l'attention ait été attirée jusqu'à présent sur le fait que l'expression figurant entre parenthèses dans la formule 99 représente implicitement une famille de droites traduisant l'oxygène consommé par un décilitre d'air expiré (ce que nous avons appelé X) en fonction de la somme des concentrations de l'oxygène et du gaz carbonique dans le même air. Il est pourtant facile de le démontrer. Appelons Y la somme en question ($Y = \text{CO}_2\% + \text{O}_2\%$). On peut écrire alors, en s'appuyant sur la formule 99 :

$$X = \frac{20,9 (100 - Y)}{79,1} - (Y - \text{CO}_2\%) \quad [100]$$

Puisque $\text{N}_2\% = 100 - (\text{CO}_2\% + \text{O}_2\%)$ et $\text{N}_2\% = 79,1$.

Cette équation est équivalente à la suivante :

$$\begin{aligned} X &= \frac{2090}{79,1} - \frac{79,1 + 20,9}{79,1} Y + \text{CO}_2\% \\ &= \frac{2090}{79,1} - \frac{100}{79,1} Y + \text{CO}_2\% = 26,4 - 1,26 Y + \text{CO}_2\%. \quad [101] \end{aligned}$$

On voit que l'équation 101 représente bien une fonction linéaire de type : $X = A + BY + p$. Pour une valeur de p , en cette occurrence pour une valeur donnée de $\text{CO}_2\%$, l'oxygène consommé par un décilitre d'air expiré peut être représenté par une fonction linéaire de la somme ($\text{CO}_2\% + \text{O}_2\%$).

Or, on sait que de telles équations peuvent être représentées par un nomogramme à points alignés. Ce nomogramme est figuré sur la figure 30. L'oxygène consommé par un décilitre d'air expiré (X) y est représenté sur l'échelle marquée : O_2 . Les échelles (CO_2) et ($\text{CO}_2 + \text{O}_2$) représentent les autres variables de l'équation 101. Pour évaluer l'oxygène (X), il suffit de tendre un fil de façon qu'il coupe les verticales qui se rapportent aux CO_2 et ($\text{CO}_2 + \text{O}_2$) aux points correspondant aux valeurs trouvées directement par l'analyse. Ce fil coupera en même temps l'échelle de O_2 au point correspondant à la valeur cherchée.

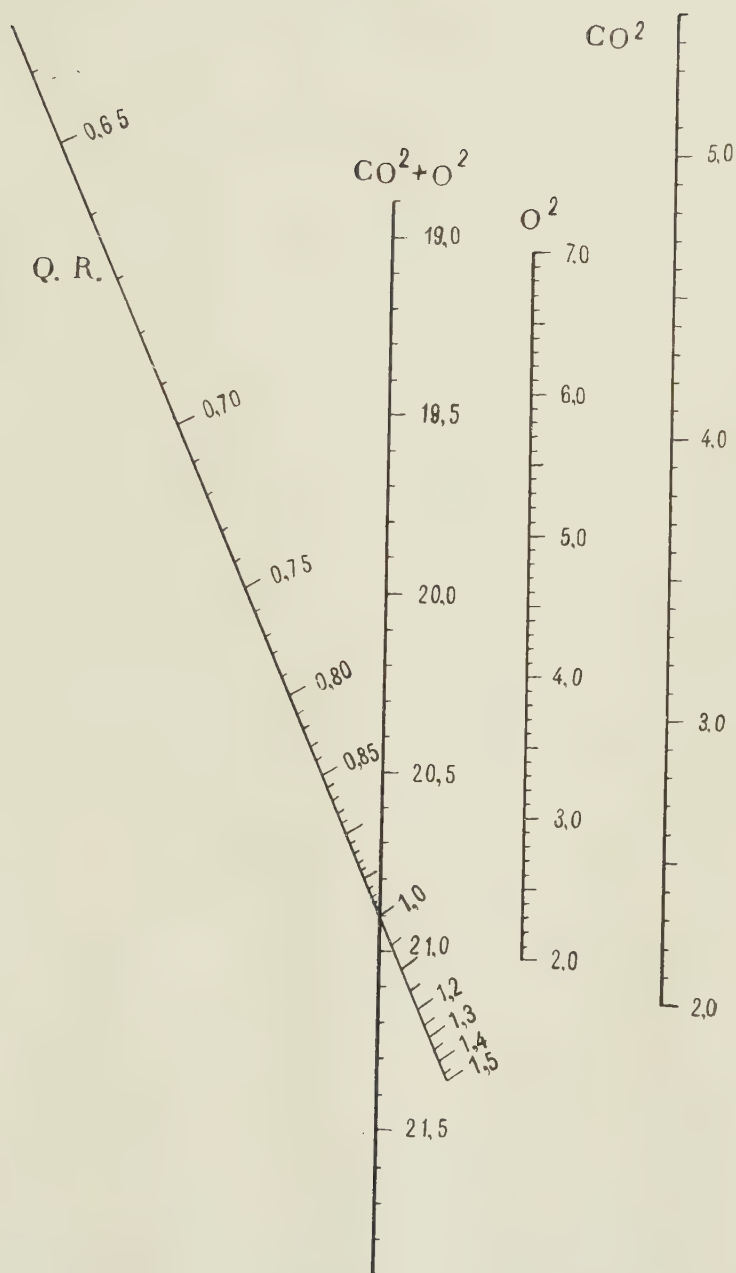


FIG. 30.

Il coupera en même temps l'échelle qui indique les valeurs des quotients respiratoires. Ces valeurs représentent simplement les rapports de celles de CO^2 à celles de O^2 correspondant à une même détermination du métabolisme. Or on sait que de tels rapports peuvent être facilement représentés sur un nomogramme à points alignés. Il suffit seulement de choisir une échelle convenablement graduée.

Ainsi le nomogramme figuré permet une détermination instantanée de l'oxygène consommé par un délilitre d'air expiré, de même que le quotient respiratoire, en partant des valeurs brutes données par l'analyse. Nous donnons ici les indications pratiques qui permettront de le reproduire sur une grande feuille de papier millimétré.

Pour situer exactement les droites de l'abaque, nous indiquons les coordonnées x et y des quatre couples de points qui les déterminent. Ces coordonnées sont mesurées en millimètres à partir d'une origine arbitraire.

C'est ainsi que l'on tracera la droite correspondante au CO^2 p. 100 entre le point des coordonnées $x = 250$; $y = 100$; ($\text{CO}^2 = 2,0$ p. 100) et celui de $x = 250$; $y = 450$; ($\text{CO}^2 = 5,5$ p. 100). On la divise ensuite en 35 parties égales. La droite correspondante à O^2 p. 100 réel est tirée entre le point des coordonnées : $x = 200$; $y = 115$; ($\text{O}^2 = 2,0$ p. 100) et celui de : $x = 200$; $y = 365$; ($\text{O}^2 = 7,0$ p. 100), et on la divise en 50 parties égales. Celle de ($\text{CO}^2 + \text{O}^2$ p. 100) entre le point : $x = 150$; $y = 4$; [$(\text{CO}^2 + \text{O}^2) = 21,9$ p. 100] et celui de $x = 150$; $y = 378$ [$(\text{CO}^2 + \text{O}^2) = 18,9$ p. 100], et on la divise en 30 parties égales. Enfin la droite inclinée relative aux quotients respiratoires réels est tendue entre le point de coordonnées : $x = 199,5$; $y = 15$ et celui de $x = 11$; $y = 450$. On pourra graduer cette droite en prolongeant celles qui coupent les verticales de O^2 p. 100 et de CO^2 p. 100 aux points suivants :

O^2 p. 100	CO^2 p. 100	Quotient respiratoire	O^2 p. 100	CO^2 p. 100	Quotient respiratoire
5,0	3,25	0,65	3,0	3,30	1,10
—	3,50	0,70	—	3,45	1,15
—	3,75	0,75	—	3,60	1,20
—	4,00	0,80	—	3,75	1,25
4,0	3,40	0,85	—	3,90	1,30
—	3,60	0,90	—	4,05	1,35
—	3,80	0,95	—	4,20	1,40
—	4,00	1,00	—	4,35	1,45
3,0	3,15	1,05	—	4,50	1,50

Les points intermédiaires s'obtiennent par un procédé analogue. Le nomogramme ainsi construit permet la lecture immédiate des valeurs de O^2 p. 100 et du quotient respiratoire réels en partant de celles qui ont été trouvées par l'analyse à l'aide d'un eudiomètre du type Laulanié. Ceux qui se servent de l'appareil de Haldane peuvent en bénéficier aussi facilement à condition de marquer à côté des traits divisant les droites de CO^2 p. 100 et de ($\text{CO}^2 + \text{O}^2$) p. 100, les valeurs de $(100 - \text{CO}^2$ p. 100) et $[100 - (\text{CO}^2 + \text{O}^2)$ p. 100]. On marquera par exemple

96,5 au lieu de 3,5 et 79,5 au lieu de 20,5. Cette précaution étant prise, le nomogramme présenté peut être utilisé par tous ceux qui se servent de la méthode de circuit ouvert.

2° *Un nomogramme pour le calcul rapide de l'énergie consommée par unité de volume d'air expiré.*

Lorsqu'il s'agit de la détermination du métabolisme de base ou de repos, il convient de traduire l'oxygène consommé par unité d'air

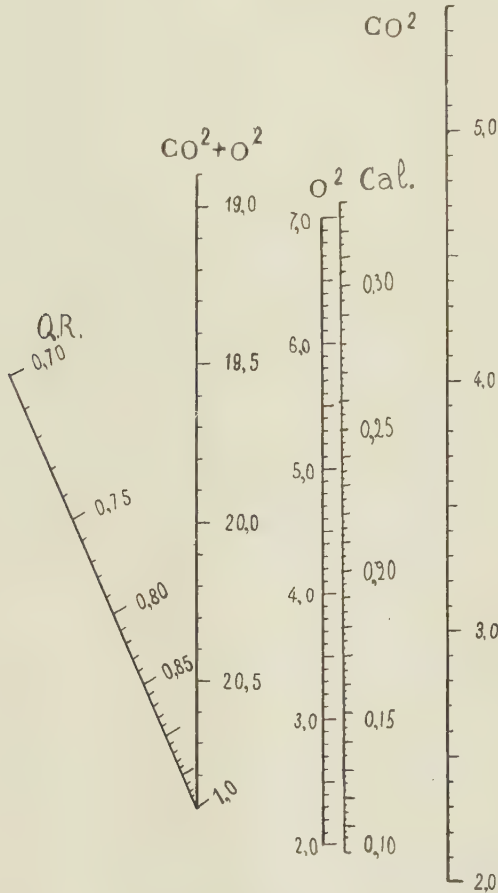


FIG. 31.

expiré, pendant la période à laquelle correspond l'analyse de gaz, par le nombre de calories dégagées. Pour cela on multiplie l'oxygène consommé par son coefficient calorifique. Or ce coefficient est fonction

du quotient respiratoire. Si l'on rattache au quotient respiratoire de 0,70 la valeur calorifique de l'oxygène de 4 Cal. 686 et à celui de 1,00 celle de 5 Cal. 047, l'on peut représenter les coefficients calorifiques de l'oxygène s'attachant à toutes les autres valeurs intermédiaires du quotient respiratoire par l'équation suivante :

$$K = \frac{Q.R. - 0,70}{0,30} 5,047 + \frac{1 - Q.R.}{0,30} 4,686. \quad [102]$$

C'est là une simple application de la règle de trois. Cette équation peut se mettre sous la forme suivante :

$$\begin{aligned} K &= \left(\frac{(5,047 - 4,686)}{0,30} \right) Q.R. - \left(\frac{0,70}{0,30} \right) 5,047 + \frac{4,686}{0,30} \\ &= 1,203 Q.R. + 3,844. \end{aligned} \quad [103]$$

Or la valeur cherchée (calories correspondant à l'oxygène consommé) n'est que le produit de l'oxygène par son coefficient calorifique dont l'expression est indiquée par la formule 103 :

$$\text{Cal.} = O^2 (1,203 Q.R. + 3,844). \quad [104]$$

C'est là une équation linéaire à trois variables dont deux se trouvent représentées sur notre nomogramme. Il est facile d'en figurer la troisième. La figure 31 montre en plus des échelles représentées sur notre premier nomogramme, celle qui correspond à la valeur calorifique de l'oxygène consommé par un litre d'air expiré.

3° Un nomogramme permettant le calcul rapide du métabolisme de base.

Nous avons représenté sur la figure 32 un abaque qui permet d'utiliser les nomogrammes précédemment décrits pour le calcul rapide du métabolisme de base. Bornons-nous à en décrire le mode d'emploi.

Sur cet abaque sont figurées les échelles suivantes :

a) Échelle des sommes des pourcentages du CO^2 et de O^2 dans l'air expiré ($CO^2 + O^2$). C'est une donnée immédiate de l'analyse.

b) Échelle des pourcentages du gaz carbonique dans l'air expiré (CO^2). C'est également une donnée fournie par l'analyse.

c) Échelle des volumes d'air expiré en litres par minute (vol.). C'est une valeur lue sur le spiromètre.

d) Échelle des coefficients de correction pour ramener les volumes précédents en air sec à O^0 et 760 mm. (Corr.).

Il existe de nombreuses tables qui permettent de les trouver en partant de la température extérieure et de la pression atmosphérique.

e) Échelle des quotients respiratoires (Q. R.) et

f) Échelle des métabolismes (M) en Calories par heure, sur laquelle on lit les résultats fournis par l'abaque.

D'autre part, sur cette figure sont représentés deux axes de repères (X et Y) dont nous montrerons tout à l'heure l'utilité.

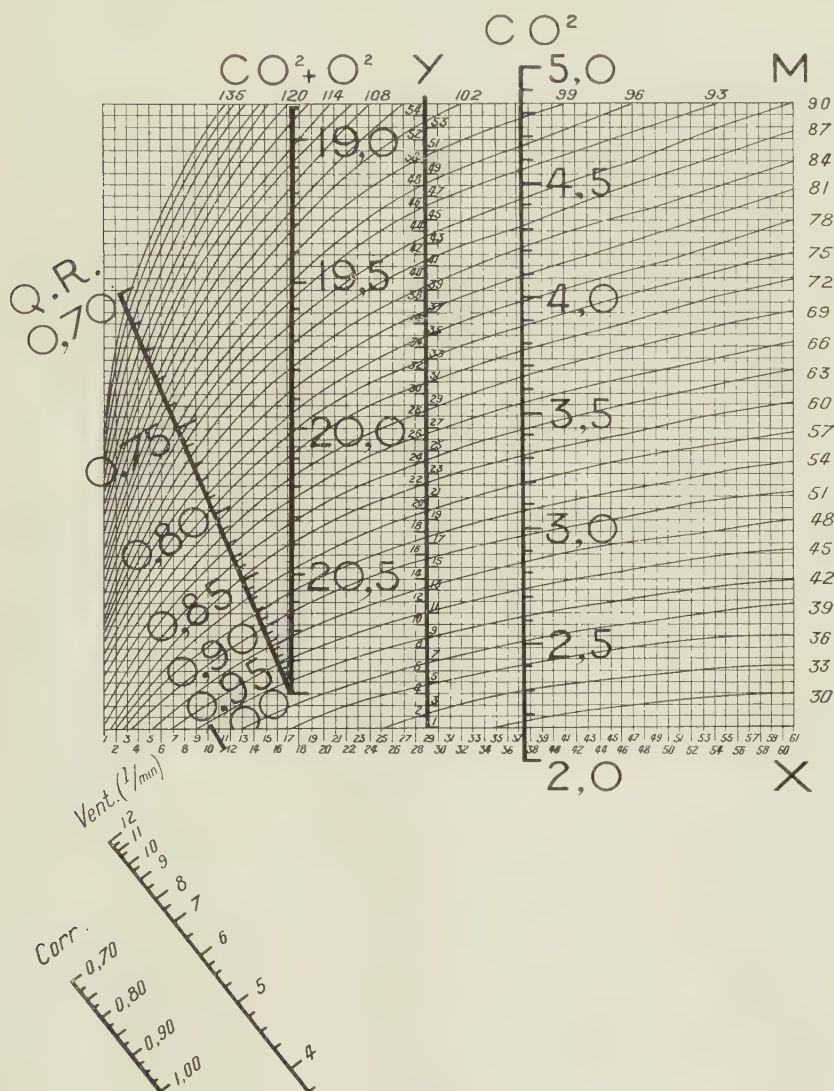


FIG. 32.

Voici maintenant comment il faut se servir de cet abaque.

On applique contre la figure un fil tendu de façon à couper les axes des (CO_2) et des $(\text{CO}_2 + \text{O}_2)$ aux points correspondant aux données

expérimentales. Le fil coupera l'axe des (Q. R.) au point correspondant au quotient respiratoire réel cherché. On notera en même temps sur l'axe des Y le numéro correspondant à l'endroit où cet axe est coupé par le fil. Il est important de bien déterminer cet endroit et l'on tâchera d'évaluer approximativement la fraction de la division comprise entre deux traits successifs. C'est ainsi que l'on notera, par exemple, pour le $(\text{CO}^+ + \text{O}^2) = 20,0$ et le $(\text{CO}^2) = 3,8 : 31,1/4$.

On procédera de même en appliquant le fil tendu contre les axes des corrections (« corr. ») et des volumes (« vol. ») de façon à les couper aux points correspondant aux données expérimentales ; on notera avec la même minutie le chiffre trouvé sur l'axe des X.

On déterminera ensuite le point d'intersection de la verticale issue du point déterminé sur l'axe des X avec l'horizontale passant par le point trouvé sur l'axe des Y. Il arrivera alors de deux choses l'une :

1. Ce point d'intersection se trouve sur une courbe « isométabolique » correspondant au métabolisme cherché, figurée sur le graphique. On lira alors sur l'axe des (M) la valeur du métabolisme en Calories par heure.

2. Le point d'intersection ne se trouve pas sur l'une des courbes dessinées sur l'abaque. Il conviendra alors de lire les valeurs des métabolismes correspondant aux courbes qui passent immédiatement au-dessus et au-dessous de lui. On évaluera le métabolisme cherché suivant les distances qui séparent le point d'intersection respectivement de la courbe supérieure et de la courbe inférieure. Si l'on avait procédé avec minutie, cette valeur interpolée ne saurait être entachée d'une erreur supérieure à 1,5 p. 100. Dans la plupart des cas celle-ci sera bien moins élevée.

Si l'on veut évaluer le métabolisme de base par unité de surface il suffit de diviser la valeur indiquée sur l'abaque par la surface du sujet examiné.

Lorsque la ventilation pulmonaire dépasse 8 litres par minute, on est obligé de travailler dans une région de l'abaque où la précision est la moindre. Nous conseillons dans ces cas de faire toutes les manipulations comme si le sujet avait une ventilation égale à une fraction de la ventilation réelle (trois quarts, deux tiers ou moitié, suivant les cas) et de corriger ensuite la valeur finale obtenue (la multiplier respectivement par $4/3$, par $3/2$ ou la doubler).

Un nomogramme pour le calcul des valeurs standard du métabolisme de base, établi d'après la formule de Dreyer. Graphique des surfaces.

Le nomogramme des valeurs standard du métabolisme, calculées d'après l'équation de Dreyer, est représenté sur la figure 33. Il donne

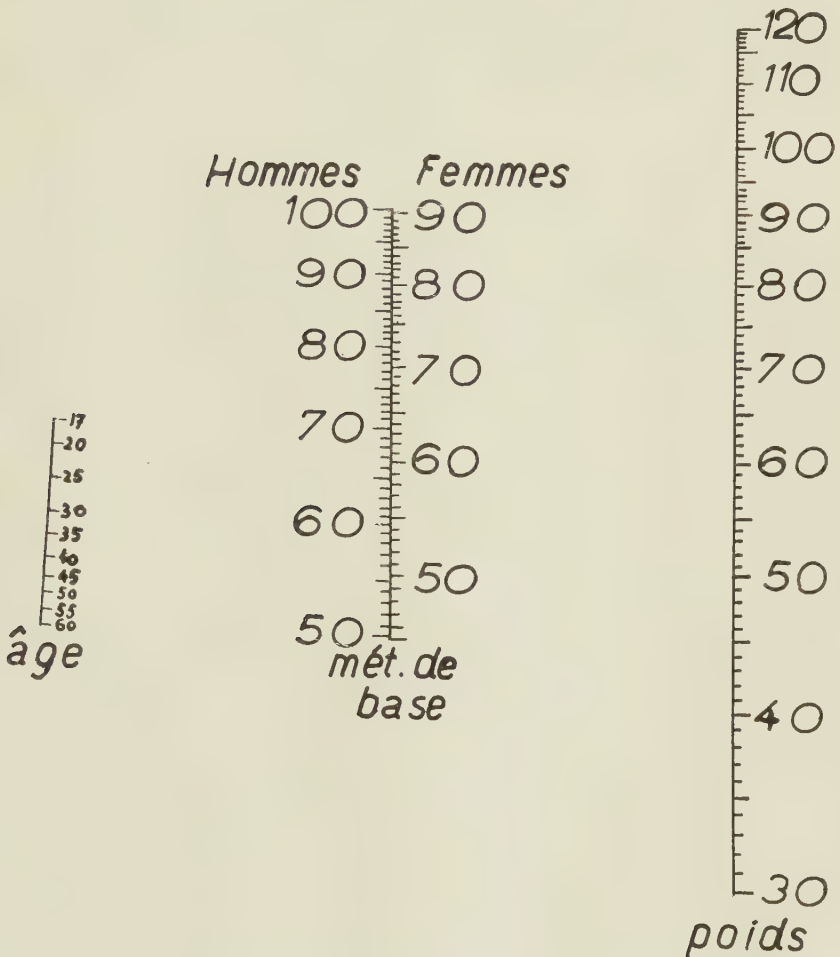


FIG. 33.

ces valeurs pour les deux sexes en grandes calories et par heure. Pour les déterminer, il suffit de couper par un fil tendu les axes des poids et des âges aux points correspondant au sujet examiné. Le fil coupera l'axe des métabolismes au point cherché.

Les valeurs standard données par ce nomogramme sont à comparer directement à celles déterminées sur l'abaque de la figure 32.

Sur la figure 34 est représenté un axe portant, d'un côté, une échelle

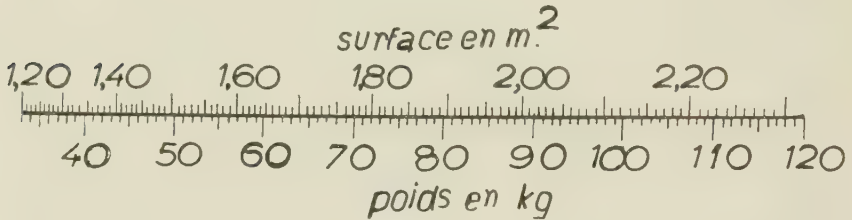


FIG. 34.

des poids et, de l'autre, une échelle des surfaces calculées d'après notre équation 67 (p. 85). On peut ainsi déterminer directement la valeur de la surface pour un poids donné, correspondant à une femme examinée, quelle que soit sa corpulence.

CONCLUSIONS

I. — La grandeur du métabolisme de base chez l'homme, rapportée à l'unité de surface, n'est pas la même pour les individus de sexe et d'âge différents. Harris et Benedict ont cherché l'explication de ces faits dans les différences du taux des tissus de réserve et de la « masse protoplasmique active » dans le poids total du corps de ces différents sujets. Récemment, Bohnenkamp a rattaché cette diversité des valeurs du métabolisme de base par unité de surface, selon le sexe et l'âge, aux différences dans l'épaisseur du pannicule adipeux sous-cutané. L'augmentation de cette épaisseur diminue la température moyenne des téguments à une température fixe du milieu ambiant ; il en résulterait une diminution de la déperdition calorifique par rayonnement et, par suite, une diminution du métabolisme de base. Or, les femmes et les sujets âgés présentent un pannicule adipeux plus épais que les hommes et les sujets jeunes.

Les hypothèses explicatives mentionnées ci-dessus peuvent être soumises au premier contrôle expérimental : il suffit d'étudier le métabolisme de base en fonction de l'indice d'obésité des sujets examinés.

A) *Harris et Benedict* concluent à la diminution du métabolisme de base chez les obèses. Ils trouvent la confirmation de cette diminution dans l'étude des coefficients de corrélation partielle entre le métabolisme de base et la taille, à poids et à âge constants. Ainsi les sujets du même âge et du même poids présenteraient, d'après ces auteurs, une augmentation du métabolisme de base avec celle de leur taille.

B) *Bohnenkamp* trouve la confirmation de la diminution du métabolisme de base dans les faits cliniques qui auraient été apportés par divers auteurs en ce qui concerne la « plupart des formes de l'obésité ».

Pourtant, nous avons fait ressortir que :

1^o Le coefficient de corrélation partielle entre le métabolisme de base et la taille, à poids et âge constant, chez les femmes examinées par Harris et Benedict, est sensiblement nul. Malgré cela, ces auteurs crurent pouvoir introduire le facteur taille dans leur équation biométrique.

Ce coefficient est également extrêmement faible en ce qui concerne les hommes examinés par les mêmes auteurs.

2^o L'examen des différentes statistiques publiées par un certain nombre d'auteurs, concernant le métabolisme de base des obèses, montre une grande diversité dans les résultats obtenus. Les raisons de ces divergences sont discutées.

Seule une enquête statistique détaillée, portant sur un grand nombre de sujets et respectant certaines règles élémentaires que nous avons rappelées dans le texte, pourrait apporter une réponse à la question que voici : le métabolisme de base diminue-t-il, oui ou non, du seul fait de la présence d'un taux élevé du tissu de réserve (Harris et Benedict) et d'un pannicule adipeux épais (*Bohnenkamp*) ?

II. — L'enquête statistique, effectuée sur 688 femmes de gabarit très hétérogène, dont nous apportons dans ce travail les résultats, se présente sous un double aspect :

A) Dans la première partie de notre enquête, nous avons envisagé les valeurs relatives individuelles du métabolisme de base, calculées par rapport aux valeurs standard proposées par *a)* Harris et Benedict, *b)* Dreyer, *c)* Boothby et Sandiford (la surface étant calculée d'après Du-Bois) et *d)* Aub et Du-Bois (la surface calculée d'après Bouchard). Nous avons étudié, d'une part l'évolution « continue » des moyennes du métabolisme de base en fonction des indices d'obésité (1) et, d'autre

(1) L'indice d'obésité que nous avons utilisé est le même que celui dont se sont servi Rathery et Plantefol dans un travail récent. Il représente le quotient du poids sur la taille, diminuée de 105 cm. La validité de cet indice a été discutée.

part, les valeurs moyennes caractérisant deux groupes : 1^o celui des femmes de « gabarit » plus ou moins « normal » (454 sujets) et 2^o celui des femmes indiscutablement obèses (234 sujets). Les valeurs des moyennes et celles des indices de dispersion constatées sont comparées à leurs erreurs probables. Nous l'avons fait pour toute la « population » et pour les femmes âgées de plus de 30 ans.

B) Dans la deuxième partie de notre travail nous avons calculé les coefficients et les rapports de corrélation entre, d'une part, les échanges de base et, de l'autre, les valeurs de divers facteurs biométriques (poids, taille, surface, âge), sans passer par l'intermédiaire des tables de références. Nous l'avons fait pour les femmes « normales », pour les femmes « obèses » et pour la totalité de la population envisagée.

Nous avons été amenés aux conclusions suivantes :

1^o Le métabolisme de base, comparé aux valeurs standard de Harris et Benedict et à celles de Dreyer, présente sensiblement les mêmes valeurs moyennes et les mêmes distributions des valeurs individuelles, quel que soit l'indice d'obésité des sujets examinés. (Voir les tableaux V, VI et IX *a*.)

Lorsqu'on le rapporte à l'unité de surface, on constate une certaine tendance à l'augmentation chez les femmes présentant un indice d'obésité très élevé (surtout lorsque l'on compare le métabolisme de base aux valeurs standard de Boothby et Sandiford, la surface étant calculée d'après Du-Bois). Pourtant, lorsqu'on le compare aux valeurs standard de Aub et Du-Bois, la surface étant déterminée d'après Bouchard, l'on constate sensiblement les mêmes valeurs du métabolisme de base sur une étendue considérable de l'échelle de gabarits (telle que le poids varie du simple au double pour une taille déterminée). (Voir les tableaux VII, VIII et IX *b*.)

2^o *a*) Les coefficients et les rapports de corrélation entre le métabolisme de base d'une part, le poids ou la surface d'autre part, sont pratiquement les mêmes, qu'il s'agisse des femmes « normales » ou des femmes « obèses ». Il en est de même des équations de régression correspondantes. Ainsi, lorsque l'on considère des femmes de poids de plus en plus élevé, on cons-

tate, en moyenne, la même augmentation du métabolisme de base par unité de poids accru, quelle que soit la part qui revient aux tissus actifs ou à la graisse dans la masse qui constitue cette unité. Rapporté à l'unité de surface, le métabolisme de base est sensiblement le même d'un bout à l'autre de l'échelle des gabarits. (Voir les fig. 17 et 19.)

b) Il n'y a pas de relation linéaire entre le métabolisme de base et l'âge, à poids constant. Cependant, le métabolisme basal se modifie nettement avec l'âge, le coefficient de corrélation entre les échanges de base et le poids étant plus élevé dans les groupes de sujets d'âge fixe (chez les femmes de 20 à 29 et de 30 à 49 ans) que celui trouvé sur toute la population. (Voir la fig. 18.)

c) Le coefficient de corrélation entre le métabolisme de base et la taille est relativement faible ($0,263 \pm 0,024$). A poids constant, il est pratiquement nul ($0,10 \pm 0,026$). Ce résultat est très suggestif, surtout si l'on prend en considération la grande diversité des gabarits dans la population envisagée dans ce travail. La connaissance de la taille ne contribue donc pas d'une façon tant soit peu appréciable au pronostic de la valeur du métabolisme de base d'un sujet lorsque son poids et son âge ont déjà permis d'en fixer l'ordre de grandeur.

III. — Nous avons discuté particulièrement :

A. *La signification des équations permettant, d'après Bouchard, d'évaluer la surface cutanée chez la femme.*

L'on sait que ces équations font intervenir le poids, la taille et le tour de taille. Elles permettent de mieux évaluer la surface des obèses comparativement à l'équation courante des Du-Bois ; cette dernière la sous-estime en général. Or, nous avons montré que les valeurs de la surface de tous nos sujets étant, chacune, calculée d'après Bouchard, peuvent être représentées avec une erreur maximum de ± 5 p. 100 par une expression mathématique simple, d'après laquelle la surface apparaît comme proportionnelle à la racine carrée du poids. (Voir la fig. 21.)

B. La signification de l'équation de Dreyer.

L'équation de Dreyer représentant le métabolisme de base à âge constant comme étant proportionnel à la racine carrée du poids, il résulte de l'alinéa A ci-dessus, que les échanges de base sont proportionnels à l'étendue de la surface calculée d'après Bouchard. Nous avons d'ailleurs trouvé la même forme de relation entre le métabolisme de base et le poids sur les différents groupes de sujets et sur l'ensemble de la population envisagée dans ce travail.

C. La théorie de Bohnenkamp.

Cette théorie ne se vérifie pas à la lumière des faits que nous avons exposés. Cependant, une équation générale du métabolisme de base peut être formulée en s'appuyant sur les lois physiques régissant diverses déperditions calorifiques, à condition d'introduire dans cette équation générale une température particulière du milieu ambiant que nous avons appelée « température équivalente ». A cette température, la part qui revient à la déperdition calorique par évaporation dans la déperdition calorique totale est constante, quel que soit l'individu examiné. Dans certaines conditions expérimentales, strictement définies, la loi des surfaces est traduite par l'expression suivante :

$$(AT_e^3 + B) (T_c - T_e) = \text{Const.}$$

où T_e = température équivalente et T_c = température cutanée moyenne à la température équivalente, A et B les constantes. C'est l'expression fondamentale de la loi des surfaces. L'application de cette expression à l'étude du métabolisme de base dans la série animale est discutée.

D. Signification du métabolisme de base en tant que constante biométrique.

S'il est possible d'exprimer la loi des surfaces par une relation liant la température équivalente à la température moyenne que présente la surface cutanée à cette température équivalente, dans les conditions expérimentales strictement définies,

rien ne permet de prouver que la loi Rubner-Richet est imposée aux homéothermes par les conditions du milieu extérieur ou en vertu d'un principe supérieur de la nature. En fait, la valeur du métabolisme de base de l'homme est largement indépendante des conditions extérieures. La température de neutralité thermique n'est pas la seule à laquelle le métabolisme atteint sa valeur de base. Il s'y maintient sur une étendue très grande de l'échelle thermique, pouvant aller chez l'homme jusqu'à 40° (température extérieure). Il semble bien qu'elle se retrouve dans la zone du chaud tant que l'appareil thermorégulateur réussit à maintenir constante la température du corps. Les dépenses de thermolyse sont très « bon marché ».

E. La corrélation entre le métabolisme de base et les différents facteurs biométriques.

a) L'indépendance du métabolisme de base de l'homme vis-à-vis des conditions extérieures pourrait sembler être en faveur de la théorie de la « masse active ». Nous avons vu cependant que les femmes du même poids ont un métabolisme de base identique, quelle que soit la part qui revient dans ce poids à la réserve grasseuse. À la lumière de ces faits, la théorie de la masse active paraît insoutenable.

b) Un nomogramme est dressé, d'après lequel les valeurs du métabolisme de base, du poids, de l'âge, de la surface et de la taille sont représentées les unes en fonction des autres chez l'« homme moyen » (avec certaines réserves formulées dans le texte). C'est une véritable loi du métabolisme de base de l'« homme moyen ». Elle fixe un certain équilibre aléatoire entre les différents facteurs chez un tel individu. Mais il est impossible de dire, d'après ce nomogramme, quels sont les facteurs biométriques les plus immédiatement liés au métabolisme de base. (Voir la fig. 23.)

c) Seule l'analyse statistique pratiquée sur les valeurs individuelles réelles du métabolisme de base permet de définir quels sont les facteurs les plus importants parmi ceux qui font partie du système aléatoire équilibré de caractères liés au métabolisme de base. Ces facteurs sont, entre autres, le

poids, la surface et l'âge et non pas la taille. Un récent travail de G. Teissier est brièvement discuté à ce propos.

d) Ainsi la loi des surfaces traduit non seulement un certain équilibre entre la « température équivalente » et la température moyenne que la surface cutanée présente à cette température équivalente, mais aussi un équilibre entre les différents facteurs biométriques : poids, surface, âge, débit cardiaque, ventilation pulmonaire, etc., etc... On pourrait dire que la loi des surfaces résulte de la création au cours des siècles d'évolution d'un équilibre entre les différents facteurs biométriques. On pourrait supposer qu'au cours de cette évolution des mécanismes nerveux de la régulation des échanges de base se seraient forgés ; certains facteurs tels que le poids brut total du corps ou la surface « géométrique » auraient acquis le pouvoir de régler le niveau des échanges par l'intermédiaire du système nerveux. Cette manière de voir pourrait rendre compte des faits que nous avons observés chez les obèses. Cependant, le rôle joué par le système nerveux dans la régulation du métabolisme de base n'est pas définitivement prouvé.

F. *Point de vue médical.*

a) La constance des valeurs moyennes du métabolisme de base sur une étendue considérable de l'échelle de gabarit ne diminue nullement l'importance pratique de la détermination du métabolisme de base chez les obèses.

b) Les résultats de nos recherches rendent superflu le souci de certains auteurs de rapporter le métabolisme de base des obèses à une unité de référence différente de celle dont on se sert pour les sujets de configuration normale. (Inutilité de la considération du poids dit « idéal ».)

c) Les équations de Dreyer semblent être les plus indiquées pour fournir les valeurs standard du métabolisme de base, quelle que soit la configuration physique des sujets examinés (du moins chez les femmes adultes). Des nomogrammes ont été dressés facilitant le calcul du métabolisme de base. (Voir les fig. 30-34.)

Vu : *Le Doyen,*
ROUSSY.

Vu : *Le Président,*
RATHIERY.

Vu ET PERMIS D'IMPRIMER :
Pour le Recteur de l'Académie de Paris,
l'Inspecteur de l'Académie,
PERRON

BIBLIOGRAPHIE

1. ANREP, G. et HAMMOUDA, M. (1932). — *J. of Physiol.*, t. LXXVII, pp. 16-34.
2. D'ARBOIS (1930). — Cité d'après Hermann.
3. AUB et DU-BOIS (1917). — *Arch. intern. Méd.*, t. XIX, p. 831.
4. — (1918). — *Cornell. Univ. Med. Bull.*, t. VII, p. 9.
5. BANDOW, F. et BOHNENKAMP, H. (1935). — *Pflüg. Arch.*, t. CCXXXVI, pp. 429-434.
6. BARACH et DRAPER (1925). — *J. Am. Med. Assoc.*, p. 740.
7. BEDFORD, T. (1935). — *J. of Hygiene*, t. XXXV, p. 303.
8. BENEDICT, F. G. (1915). — *A study of prolonged fasting*. Pub. Carn. Inst. Washington.
9. — (1915). — *J. of Biol. Chem.*, t. XX, pp. 263-283.
10. — (1916). — *Am. J. of Physiol.*, t. XLI, pp. 292-308.
11. — (1916). — *Am. J. of Physiol.*, t. XLI, p. 275.
12. — (1927). — *Bull. Soc. Sc. d'Hyg. Al.*, t. XV, p. 206.
13. — (1928). — *Am. J. of Physiol.*, t. LXXXV, pp. 607-620.
14. — (1933). — *Biotypologie*, t. I, pp. 49-53.
15. — BENEDICT, F. G., et BENEDICT, C. C. (1924). — *Bull. Soc. d'Hyg. Al.*, t. XII, p. 541.
16. — BENEDICT, MILES, ROTH et SMITH (1919). — *Human vitality and efficiency under prolonged restriction diet*. Publ. Carn. Inst. Washington.
17. BENEDICT, F. G. et ROOT, H. F. (1926). — *Arch. Intern. Med.*, t. XXXVIII, p. 19.
18. BENEDICT, F. G. et ROTH, P. (1915). — *J. of Biol. Chem.*, t. XX, p. 231.
19. BENEDICT, F. G. et SMITH, H. M. (1915). — *J. of Biol. Chem.*, t. XX, pp. 243-252.
20. BENEDICT, F. G. et TALBOT, F. B. (1914). — Carn. Inst. Publ., N. 201, Washington.
21. BERKSON, J., BOOTHBY, W. M. et DUNN, H. L. (1935). — *Am. J. Physiol.*, t. CXIII, p. 11.
22. BOHNENKAMP, H. (1932). — *Erg. Physiol.*, t. XXXIV, pp. 848-895.
23. BOHNENKAMP, H. et ERNST, H. W. (1931). — *Pflüg. Arch.*, t. CCXXVIII, pp. 40-62; *Ibid.*, pp. 63-68.
24. BOHNENKAMP, H. et PASQUAY, W. (1931). — *Pflüg. Arch.*, t. CCXXVIII, pp. 79-99.
25. — (1931). — *Pflüg. Arch.*, t. CCXXVIII, pp. 125-168.

26. BOOTHBY, W. et SANDIFORD, J. (1922). — *J. of Biol. Chem.*, t. LIV, p. 783.
27. — (1928). — *Amer. Journ. of Physiol.*, t. LXXXV, p. 607.
28. BOUCHARD (1900). — *Traité de Pathologie générale*, t. III, 1^{re} partie, pp. 197 et 384. Paris.
29. BRODY, S. (1934). — *An. Review. of Biochemistry*, t. III, p. 295.
30. BRODY, S. et PROSTER, R. S. (1932). — Growth and development. Agricultural Exp. Station. *Research Bull.*, 166, p. 77.
31. BRODY, S., PROSTER, R. C. et ASHWORTH, U. S. (1934). — Growth and development. Agricultural Exp. Station. *Research Bull.*, 220.
- 31 bis. BURTON, A. C. (1934). — *J. of Nutrition*, t. VII, pp. 497-533.
32. BUTTNER, K. (1932). — *Klin. Wochschr.*, N. 36, p. 1508.
33. CHEVILLARD, L. (1935). — *Ann. de Physiol. et de Ph.-Ch. biol.*, t. XI, pp. 461-532 et 1015-1088.
34. CHRISTIANSEN, E. H. (1933). — *Arbeitsphysiologie*, t. VII, p. 120.
35. CHRISTIANSEN, S. et LARSEN, T. (1935). — *Comptes Rendus de la Soc. de Biol.*, t. CXVIII, p. 924.
36. COBET, R. (1926). — *Erg. Physiol.*, t. XXV, p. 439.
37. COBET et BRAMIGK (1924). — *Deutsche Arch. f. klin. Med.*, t. CXLIV, p. 45.
38. DEIGHTON, T. (1933). — *Physiol. Rev.*, t. XIII, p. 427.
39. DELCOURT-BERNARD et MAYER, A. (1925). — *Ann. de Physiol. et de Ph.-Ch. biol.*, t. I, pp. 471-498.
40. DILL, D. B., EDWARDS, H. T., BAUER, F. S. et LEVENSON, E. J. (1931). — *Arbeitsphysiologie*, t. IV, pp. 508-518.
- 40 bis. DILL, D. B. et FÖLLING, A. (1928). — *J. of Physiol.*, t. LXVI, p. 133.
41. DREYER (1920). — *Lancet*, 1920, t. II, p. 289.
42. DU-BOIS, D. et DU-BOIS, E. F. (1916). — *Arch. Int. Méd.*, t. XVII, p. 865.
43. DU-BOIS, E. F. (1924). — *Basal Metabolism*. Lea et Febiger, New York.
44. FAILLIE, R. (1924). — *Bull. de l'Ac. de Méd.*, 3^e série, t. XCI, p. 21.
45. FAILLIE, R. et d'ARBOIS DE JUBAINVILLE (1925). — *Soc. de Pathol. comp.* Séance du 21 avril.
46. FAILLIE, R. et LIBERSON, W. (1935). — *Comptes rendus de la Soc. de Biol.*, t. CNVIII, p. 1151.
47. GARREION, L. (1909). — *Étude expérimentale sur la polypnée thermique*. Paris.
48. GASNIER, A. et MAYER, A. (1933). — *Ann. de Physiol. et de Ph.-Ch. biol.*, t. IX, pp. 943-952.
49. — (1934). — *Ann. de Physiol. et de Ph.-Ch. biol.*, t. X, pp. 147-236.
50. GELINÉO, S. (1934). — *Ann. de Physiol. et de Ph.-Ch. biol.*, t. X, pp. 1083-1115.
51. GESSLER (1925). — *Pflüg. Arch.*, t. CCVII, p. 370.
52. GIAJA, J. (1928). — *Ann. de Physiol. et de Ph.-Ch. biol.*, t. IV, pp. 905-932.
53. — (1931). — *Ann. de Physiol. et de Ph.-Ch. biol.*, t. VII, pp. 13-80.
54. GIAJA, J. et GELINÉO, S. (1931). — *Ann. de Physiol. et de Ph.-Ch. biol.*, t. VII, pp. 163-168.
55. GUSTAFSON, F. C. et BENEDICT, F. L. (1928). — *Am. J. of Physiol.*, t. LXXXVI, p. 43.
56. HARRIS et BENEDICT (1919). — *A biometric study of basal metabolism in man*. Carnegie Inst. Washington.
57. HASSING. — Cité d'après Bach (1926) in *Tabulæ Biologicæ*, t. III, pp. 617-719. Berlin.
58. HELLER, H. (1932). — *Z. exp. Med.*, t. LXXXI, p. 506; — *Ibid.*, t. LXXXIII, pp. 128, 735 et 757.

59. HERMANN, H. (1934). — In *Traité de Physiologie norm. et path.*, publié sous la direction de H. ROGER et L. BINET, t. V, pp. 301-350.
60. HERZHEIMER, H. (1933). — *Arbeitsphysiologie*, t. VII, pp. 181-192.
61. HILL, L. et CAMBELL, J. A. — *J. ind. Hyg.*, 4, 246 (1222-1223).
62. HOESSLIN, H. (von) (1888). — *Arch. f. Physiol.*, pp. 323-379.
63. JAQUET et SVENSON (1900). — *Zeit. f. klin. Med.*, t. XLI, p. 375.
64. KAYSER, CH. (1929). — *Comptes rendus de la Soc. de Biol.*, t. CI, p. 708.
65. — (1929). — *Ann. de Physiol. et de Ph.-Ch. biol.*, t. V, pp. 131-223.
66. — (1930). — *Ann. de Physiol. et de Ph.-Ch. biol.*, t. VI, pp. 721-744.
67. KERMORGANT, Y. (1931). — *Presse Méd.*, t. XXXIX, p. 1282.
68. KNIPPING, H. W. (1923). — *Arch. Schiffs. u. Tropenhyg.*, t. XXVII.
69. LABBÉ M. et STEVENIN, H. (1923). — *Soc. de Biologie*, t. LXXXVIII, pp. 9-12.
70. — (1929). — *Le Métabolisme basal*. Masson, éd., Paris.
71. LAMBERT, R. et TEISSIER, G. (1927). — *Ann. de Physiol. et de Ph.-Ch. biol.*, t. III, pp. 212-246.
72. LANGLOIS, Y. et différents collaborateurs (1910). — *Comptes rendus de la Soc. de Biol.* Séances du 18 juin, du 2 et du 9 juillet.
73. LANGLOIS, Y. (1914). — *Rapport à la Commission d'Hygiène industrielle*.
74. LANIEZ, G. (1932). — *Les fondements physiques et physiologiques du métabolisme de base*. Baillière, éd., Paris.
75. — (1933). *Comptes rendus de la Soc. de Biol.*, t. CXIV, p. 119.
76. LAPICQUE, L. et M. (1909). — *Comptes rendus de la Soc. de Biol.*, t. LXVI, pp. 289-292 ; — *Ibid.*, pp. 528-531.
77. — (1909). — *Comptes rendus de la Soc. de Biol.*, t. LXVII, pp. 337-339.
78. LAPICQUE, L. (1921). — *Comptes rendus de l'Acad. des Sc.*, t. CLXXII, pp. 1526-1529.
79. LE BRETON (1926). — *Ann. de Physiol. et de Ph.-Ch. biol.*, t. II, pp. 606-645.
80. LE BRETON, E. et SCHAEFFER, G. (1923). — *Recherches de physiologie générale sur la détermination de la masse protoplasmique active. Variations biochimiques du rapport nucléoplasmique au cours du développement embryonnaire*. Masson, éd., Paris.
81. LEFÈVRE, J. (1911). — *Chaleur animale et bioénergétique*. Masson, éd., Paris.
82. — (1922). — *Bull. Soc. Sc. d'Hyg. Al.*, t. X, pp. 595-608.
83. — (1929). — In *Traité de Physiologie norm. et path.*, publié sous la direction de H. ROGER et L. BINET, t. VIII.
84. LEFÈVRE et AUGUET (1932). — *Ann. de Physiol. et de Ph.-Ch. biol.*, t. VII, pp. 461-491.
- 84 bis. LIBERSON, W. (1932). — *Comptes rendus de la Soc. de biol.*, t. CXI, p. 696.
85. LIBERSON et W. MARQUÈS, P. (1933). — *Travail Humain*, t. I, pp. 204-206.
86. — (1934). — *Travail Humain*, t. I, pp. 39-69.
87. MAGNUS LEVY (1897). — *Zeit. f. klin. Med.*, t. XXXIII, p. 302.
88. MAGNUS-LEVY, A. et FALK, E. (1899). — *Arch. f. Anat. u. Physiol.*, Supp. Band., pp. 314-381.
89. MAYER, A. et NICHITA, G. (1928). — *Ann. de Physiol. et de Ph.-Ch. biol.*, t. IV, pp. 648-650.
90. — (1929). — *Ann. de Physiol. et de Ph.-Ch. biol.*, t. V, pp. 11-41.
91. — (1929). — *Ann. de Physiol. et de Ph.-Ch. biol.*, t. V, pp. 521-526.
92. — (1929). — *Ann. de Physiol. et de Ph.-Ch. biol.*, t. V, pp. 605-620.
93. — (1929). — *Ann. de Physiol. et de Ph.-Ch. biol.*, t. V, pp. 774-841.
94. MEANS (1915). — *J. Med. Res.*, t. XXXII

95. MEEH, K. (1879). — *Z. Biol.*, t. XV, pp. 425-458.
96. MELIK-MEGRABOW, A. M. (1934). — *J. de Physiol. U. R. S. S.*, t. XVII, pp. 89-95.
97. OHNISCHI, S. (1926). — *Bull. Inst. Sc. Labor.*, 15 janvier 1926.
98. OLNIAŃSKAJA, R. P. — *J. Physiol. U. R. S. S.*, t. XV, p. 328.
99. OZORIO DE ALMEIDA, A. (1920). — *J. Physiol. et Path. gén.*, t. XVIII, p. 713.
100. PALMER, W. W., MEANS, H. H. et CAMBLE, J. (1914). — *J. of Biol. Chem.*, t. XIX, p. 239.
101. RAMEAUX et SARRUS (1838-1839). — *Bull. de l'Ac. Roy. de Méd. de Paris*, t. III, pp. 1094-1100.
102. RATHERY, F. et PLANTEFOL, A. et L. (1933). — *Ann. de Physiol. et de Ph.-Ch. biol.*, t. IX, pp. 139-202.
103. RICHTER, Ch. (1899). — *La chaleur animale*. Alcan, édit., Paris.
104. — (1893). — *Anesthésie*. Travaux du Laboratoire de Ch. Richet, I, pp. 548-559.
105. — (1898). — *Dictionnaire de Physiol.*, « Chaleur », t. III, p. 81.
106. ROBIN, A. (1911). — *Acad. de Médecine*. Séance du 1^{er} avril.
107. RUBNER, MAX (1883). — *Zeit. f. Biolog.*, Band XIX, p. 389; — *Ibid.*, p. 535.
108. — (1887). — *Biologische Gesetze*, Marburg.
109. — (1894). — *Archiv. f. Hygiene*.
110. — (1902). — *Die Gesetze des Energieverbruchs bei der Ernährung*. Franz Deuticke, éd., Leipzig-Wien.
111. SAIDMAN, J. (1933). — *Comptes rendus de l'Ac. des Sc.*, t. CXCVII, pp. 1204-1206.
112. SIMONSON E. (1928). — *Erg. Hyg.*
113. STARK M. E. (1935). — *Am. J. of Physiol.*, t. III, p. 630.
114. STEVENIN, H. (1925). — *Soc. de Path. comparée*. Séance du 24 avril.
115. STÖGHELIN (1908). — *Zeit. f. klin. Med.*, t. LXV, p. 425.
116. STROUSE, S., WANG, C. C. et DYE, M. (1924). — *Arch. Intern. Méd.*, t. XXXIV, p. 275.
117. TEISSIER, G. (1928). — *Ann. de Physiol. et de Ph.-Ch. biol.*, t. IV, pp. 1-26.
- 117 bis. — (1935). — *Comptes rendus de la Soc. de Biol.*, t. CXVIII, p. 1138
118. TERROINE, E. F. (1925). — *Le métabolisme de base*. Presses Universitaires, Paris.
119. TERROINE, E. F. et DELPECH, G. (1931). — *Ann. de Physiol. et de Ph.-Ch. biol.*, t. VII, pp. 341-381.
120. TERROINE, E. F. et MELON, L. (1927). — *Ann. de Physiol. et de Ph.-Ch. biol.*, t. III, pp. 557-573.
121. TERROINE, E. F. et TRAUTMANN, E. (1927). — *Ann. de Physiol. et de Ph.-Ch. biol.*, t. III, pp. 422-457.
122. TERUOKA, G. (1935). — *An Essay on the Basal Metabolism of the Japanese*. Reports of the Inst. f. science of Labour. Kurasaki.
123. TRAUT, E. (1926). — *Z. Konstit. Lehre*, t. XII, p. 637.
124. TREVIRANUS, C. R. (1832). — *Zeit. f. Physiol.*, B. IV, pp. 1-38.
125. VOIT (1901). — *Zeit. f. Biol.*, t. XLI, pp. 113-120.

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS.

CHAPITRE PREMIER : HISTORIQUE ET POSITION DU PROBLÈME.

1. <i>La loi des surfaces</i>	11
<i>a) Considérations de principe</i>	11
<i>b) Considérations de fait</i>	12
<i>c) Objections de fait opposées à la loi des surfaces</i>	13
<i>d) Objections de principe opposées à la loi des surfaces</i>	14
2. <i>Résultats principaux obtenus sur l'homme</i>	16
<i>a) Travail de Harris et Benedict</i>	18
<i>b) Travail de Bohnenkamp</i>	22
<i>c) Recherches sur le métabolisme de base des obèses</i>	25
i) Point de vue de Harris et Benedict	26
ii) Point de vue de Bohnenkamp	27
iii) Recherches médicales.....	28
iv) Discussion	31

CHAPITRE II : ENQUÊTE STATISTIQUE SUR LE MÉTABOLISME DE BASE DES OBÈSES.

1. <i>Choix et répartition des sujets</i>	34
2. <i>Double aspect de l'enquête entreprise</i>	39
3. <i>Valeurs relatives du métabolisme de base calculées par rapport aux valeurs standard proposées par différents auteurs</i>	39
<i>a) Rappel des valeurs standard</i>	39
<i>b) Discussion concernant l'application aux sujets obèses des valeurs standard proposées par divers auteurs</i>	42
<i>c) Résultats obtenus</i>	43
i) Comparaison des moyennes.....	43
ii) Comparaison des distributions.....	53

d) Discussion.....	61
i) Influence de l'âge.....	61
ii) Influence de l'indice d'obésité.....	64
4. <i>Étude comparative des corrélations entre le métabolisme de base et divers caractères biométriques des sujets « obèses » et des sujets de corpulence « normale »</i>	66
a) Position du problème et notations.....	66
b) Résultats obtenus.....	68
i) Corrélation entre le métabolisme de base et le poids.....	68
ii) Corrélation entre le métabolisme de base et l'âge.....	71
iii) Corrélation entre le métabolisme de base et la taille.....	74
iv) Corrélation entre le métabolisme de base et la surface.....	76

CHAPITRE III : DISCUSSION GÉNÉRALE.

1. <i>Remarques préliminaires</i>	79
2. <i>Discussion des équations de la surface et de leur précision</i>	79
a) Linéarité des équations de régression.....	79
b) Rapports entre l'équation de Du-Bois et celle de Bouchard. Signification de l'équation de Dreyer.....	83
3. <i>Discussion de la théorie de Bohnenkamp</i>	87
a) Rappel de la théorie.....	87
b) Critique de la théorie de Bohnenkamp.....	90
c) Introduction de la neutralité thermique et de la température « équivalente » dans la loi du métabolisme de base.....	92
4. <i>Recherches concernant la déperdition par évaporation dans la série animale</i>	96
5. <i>Le métabolisme de base est une constante biométrique</i>	100
a) Indépendance relative du métabolisme de base vis-à-vis des conditions de la thermolyse.....	100
b) Les échanges respiratoires de l'homme à température élevée...	101
6. <i>Discussion de la corrélation que présente le métabolisme de base avec les différents facteurs biométriques</i>	108
a) Rappel des théories.....	108
b) Interdépendance des facteurs biométriques. Nomogramme de l'homme « moyen ».....	109
c) Influence respective du poids et de la surface sur la régulation des échanges. Théories de la masse active. Rôle joué par le système nerveux.....	113
7. <i>Point de vue médical</i>	115
a) Importance de la détermination du métabolisme de base chez les sujets obèses.....	115
b) Choix des valeurs standard.....	118

NOTES ADDITIONNELLES.

I. Notions élémentaires des indices de corrélation.....	119
II. Notion élémentaire de l'« erreur probable ».....	127
III. Courbes de fréquences à plusieurs sommets.....	129
IV. Histogramme.....	130
V. Ogives de Galton.....	130

APPENDICE.

Description des quelques nomogrammes permettant le calcul rapide de la valeur du métabolisme.....	132
--	-----

CONCLUSIONS.....	143
------------------	-----

BIBLIOGRAPHIE.....	151
--------------------	-----

Imprimerie CHANTENAY, 15, rue de l'Abbé-Grégoire. — PARIS-VI^e. — 12 6-1936.
